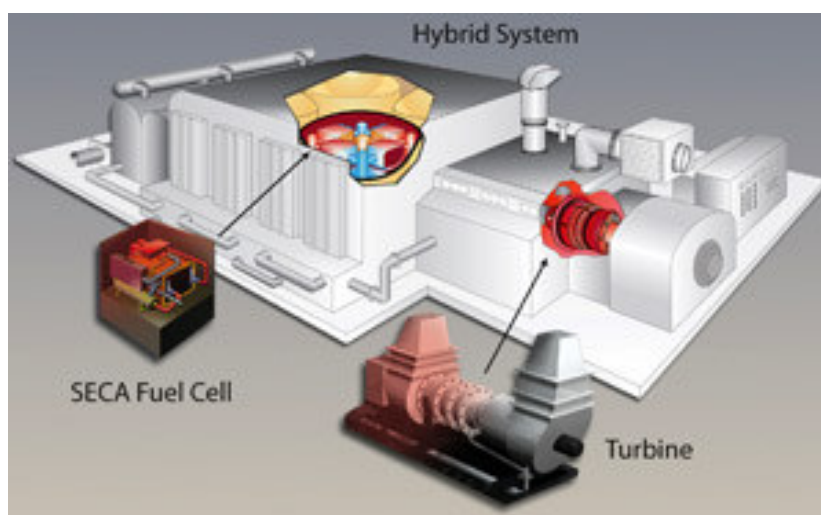
Trabalho Final de Curso

Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Ramo de Energia

Projecto de Electrificação Rural

com

Produção Renovável Híbrida

Aluno – João Carlos Leonor Correia Leitão

Orientador – Professor Cláudio Domingos Martins Monteiro

Julho de 2005

Índice

1 – Introdução

O aumento da poluição (legislação cada vez mais exigente), as limitações nas reservas de combustíveis fósseis e a ausência de regulamentação no sector de distribuição de energia (perdas eléctricas, acidentes com radiações electromagnéticas, localização e custos de centrais eléctricas) são preocupações, que a nível global estão a alarmar cada vez mais a humanidade. Estas questões, representam uma força motriz forte para a investigação e desenvolvimento de novas fontes de energia amigas do ambiente, altamente eficientes e com ciclos de vida renováveis.

O hidrogénio, é um dos combustíveis alternativos mais prometedores para o futuro, porque tem a capacidade de armazenar energia de alta qualidade, e porque faz isto em conformidade com um desenvolvimento sustentável. O hidrogénio, tem sido visto como sendo o melhor dos sistemas de energia futuro, baseados em energia solar, ou em outros recursos energéticos renováveis.

O conceito de utilizar hidrogénio, como um vector energético no armazenamento e transporte de energia, i.é., a chamada *economia d*e hidrogénio, tem sido estudada por muitos cientistas de todo o mundo (e.g., Ohta, 1979; Nitsch e Voigt, 1988; Ogden e Williams, 1989; Winter e Nitsch,1989; Scott e Häfele, 1990). O hidrogénio, pode ser produzido quimicamente através de hidrocarbonos (e.g., combustíveis renováveis tais como metano, etanol ou metanol). Uma opção mais atractiva, é a de produzir hidrogénio através da água - via electrólise - em meio aquoso, devido à abundância de água na Terra.

As células de combustível, representam uma alternativa eficiente para a conversão de energia no futuro. Num pequeno período de tempo, um grande número de organizações e empresas, assumiram o desafio de iniciarem a

comercialização de células de combustível. Muitos aspectos importantes, ligados à tecnologia das células de combustível, foram discutidos, embora muitas outras áreas como, por exemplo, modelização, catálise, fabrico industrial e controlo, representem desafios adicionais à espera de serem compreendidos e solucionados.

Muitas comunidades isoladas, possuem um ou mais potenciais energéticos, o que abre perspectivas para o aproveitamento destes recursos, através de sistemas de geração distribuída e, entre eles, os sistemas híbridos de pequena escala, onde podem ser combinados geradores eólicos, sistemas fotovoltaicos, geradores a Diesel, células de combustível, sistemas com base em biomassa ou biogás, entre outros. A opção pelo sistema de geração distribuída, mais adequada aproveitando os recursos naturais disponíveis nas comunidades, depende também, entre outros factores, do consumo de energia eléctrica, dos preços dos equipamentos do sistema e das suas condições operacionais, quando em funcionamento. Para identificação do sistema mais adequado e de melhor relação custo/benefício, é necessário simular a operação das possíveis configurações, para as condições de carga das comunidades.

O programa HOMER Pro (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable), desenvolvido pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL), permite avaliar rapidamente todo o campo de opções de configuração de sistemas híbridos, para atender um determinado perfil de carga, o qual deve ser inserido como dado de entrada. Outros dados de entrada, incluem por exemplo, o nível médio de insolação, preços de equipamentos e O&M e tipos de baterias.

As configurações resultantes, são apresentadas em ordem crescente de custo final da energia gerada (em €/kWh).

O HOMER Pro, foi desenvolvido com a finalidade de estimar o desempenho de sistemas híbridos e possui a capacidade de avaliar um grande número de alternativas de configuração, na sua busca pela opção óptima. Ele, identifica

o sistema de menor custo, capaz de suprir o consumo eléctrico de determinada comunidade, a partir de uma gama de opções potencialmente viáveis. É capaz, também, de efectuar análises de sensibilidade, para avaliar o impacto, sobre o sistema, das variações de diversos parâmetros de entrada, tais como carga, recursos (vento e sol), custo de capital, entre outros.

O programa, possui quatro categorias de entrada de dados:

- Perfil do consumo da comunidade (carga): este tipo de dado, fornece ao programa, qual a carga eléctrica que deve ser atendida;
- Recursos renováveis disponíveis: dados relativos à insolação, índice de claridade e velocidade do vento, disponíveis na região;
- Componentes do sistema: dados relacionados com tipos de equipamentos a serem utilizados, suas principais características técnicas e custos;
- Optimização: identificação das combinações possíveis dos equipamentos, que vão ser utilizados no espaço de busca, no processo de optimização do programa e determinação das condições operacionais do(s) gerador(s) para atendimento da carga (estratégia de despacho).

O programa é disponibilizado por um período de 6 meses. Após este período, é necessário solicitar uma nova senha para extensão da licença.

1.1 – Objectivo

Pretende-se, através do presente trabalho, determinar a aplicabilidade de um *Sistema Híbrido Diesel/Eólico* com células de combustível, ao desenvolvimento de um projecto de electrificação rural, para a reabilitação de duas aldeias isoladas na serra da Lousã, usando um sistema autónomo de produção com energias renováveis. Teve-se em conta, não só os aspectos económicos e energéticos do uso das mencionadas células, mas também os

aspectos ambientais, sendo estes, cada vez mais importantes. Para tal efeito, procedemos a uma série de simulações, recorrendo ao programa HOMER Pro (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable), desenvolvido pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL).

2 – Células de Combustível

Uma célula de combustível, é uma célula electroquímica, que converte continuamente a energia química de um combustível e de um oxidante em energia eléctrica, através dum processo que envolve essencialmente um sistema eléctrodo/electrólito.

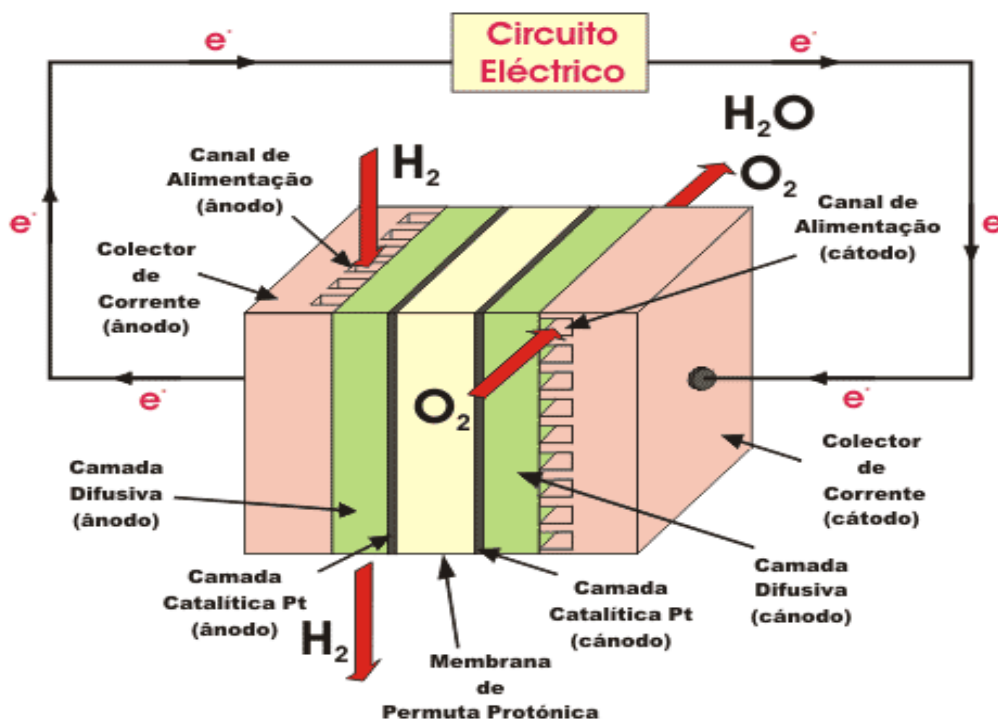



Figura 2.1

Uma célula de combustível, pode converter mais do que 90% da energia contida num combustível, em energia eléctrica e calor. O calor produzido por esta reacção química, pode ser usado para cogeração.

2.1 – Princípio de Funcionamento

Todas as células de combustível, são constituídas por dois eléctrodos. Um positivo e outro negativo, designados por cátodo e ânodo, respectivamente. Igualmente, todas as células têm um electrólito cuja função é transportar os

iões produzidos no ânodo, ou no cátodo, para o eléctrodo contrário, e um catalisador que acelera as reacções electroquímicas nos eléctrodos.

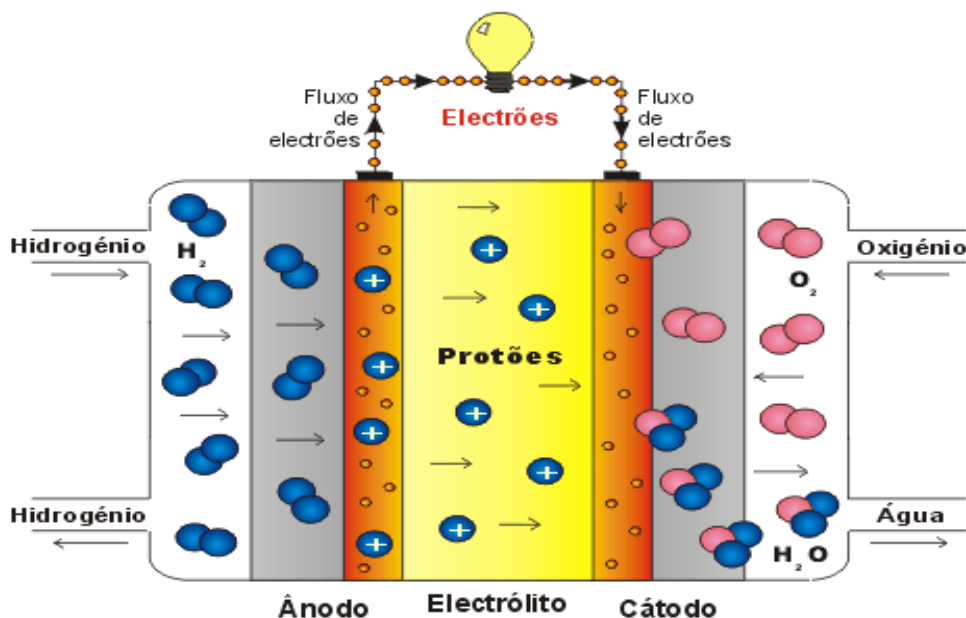
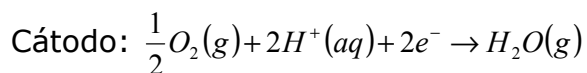
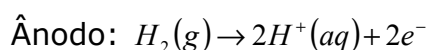



Figura 2.2

A título de exemplo, utilizando o hidrogénio como combustível e o oxigénio como oxidante, as reacções no ânodo e cátodo na célula de combustível são, respectivamente, as seguintes:

Ânodo: $H_2(g) \rightarrow 2H^+(aq) + 2e^-$

Cátodo: $\frac{1}{2}O_2(g) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2O(g)$

O hidrogénio, é alimentado ao ânodo da célula de combustível (*figura 2.2*), onde é oxidado no catalisador de platina (camada difusa/catalítica), dando-se a produção de dois electrões e de dois protões hidrogénio, H^+ (reacção ânodo). De seguida, os electrões produzidos pela reacção de oxidação do hidrogénio, são transportados através de um circuito eléctrico e utilizados para produzirem trabalho (corrente contínua). Por sua vez, os protões produzidos na reacção anódica, são transportados do ânodo para o cátodo, através do electrólito (no centro da célula). No cátodo, o oxigénio é

alimentado e reage com os protões, transportados através do electrólito, e com os electrões, provenientes do circuito eléctrico (reacção cátodo). O produto final da reacção, que ocorre no cátodo é vapor de água.

Noutro tipo distinto de células de combustível, o oxigénio é reduzido pelos electrões do circuito eléctrico no cátodo e, de seguida, o seu ião transfere-se, através do electrólito, para o ânodo, onde se combina com os iões hidrogénio.

A selecção do electrólito é de extrema importância, visto que deve permitir, unicamente, a transferência de iões do ânodo para o cátodo, ou vice-versa. Se os electrões ou outras substâncias se transferirem, através do electrólito, do ânodo para o cátodo, ou vice-versa, a performance global da célula de combustível, fica seriamente afectada. Por sua vez, de maneira a obter-se o funcionamento mais eficiente possível de uma célula de combustível, os eléctrodos devem ter elevadas áreas de contacto e o electrólito deve ter uma espessura reduzida. Um electrólito comum nas células de combustível, é um ácido, com iões H^+ móveis. Na prática, cada uma das células de combustível, pode produzir uma diferença de potencial inferior ou igual a um Volt. Isto significa que, para se obterem níveis úteis de potência eléctrica, têm de se associar diversas células de combustível em série (pilha). Deste modo, um sistema de células de combustível apresenta a vantagem de ser modular e, por isso, tem a possibilidade de ser construído para uma ampla gama de potências eléctricas, podendo ir dos mWatts até aos Mwatts.

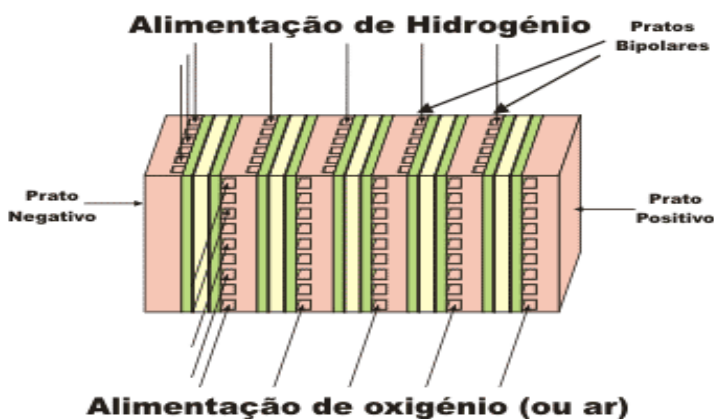



Figura 2.3

As células de combustível, são interligadas entre si, por pratos bipolares (*figura 2.3*). Estes pratos, devem ser bons condutores de electricidade e ter canais ao longo da sua superfície, de maneira a possibilitar o escoamento do combustível no ânodo e do ar ou oxigénio no cátodo. Ao mesmo tempo, devem permitir um bom contacto eléctrico com os eléctrodos, serem o menos espessos possível e de fabrico barato. Um requisito adicional, é o de evitar as fugas de reagentes.

O desenho e o fabrico das conexões entre células de combustível, é de extrema importância para o sistema e contribui, em grande parte, para o custo da pilha.

2.2 – Tipos de Células de Combustível

Muitos dos requisitos apresentados pelos sistemas eléctricos convencionais, implicam desafios técnicos específicos para as células de combustível. Por exemplo, de maneira a terem uma maior flexibilidade em relação ao combustível e melhor utilização do calor produzido, as células de combustível deverão funcionar a temperaturas elevadas. Para responderem aos diversos desafios técnicos, vários investigadores, desenvolveram diferentes tipos de células de combustível.

Diferentes Tipos de Células de Combustível:

- células de combustível com membrana de permuta protónica (CCMPP);
- células de combustível alcalinas (CCA);
- células de combustível ácido fosfóricas (CCAF);
- células de combustível de carbonato fundido (CCCF);
- células de combustível de óxido sólido (CCOS).

2.2.1 - Células de Combustível com Membrana de Permuta Protónica (CCMPP)

A célula de combustível, com membrana de permuta protónica, apresenta a vantagem da simplicidade do seu funcionamento. O electrólito, nestas células de combustível é uma membrana de permuta iónica (polímero ácido sulfónico fluorizado ou outro polímero similar), boa condutora de protões do ânodo para o cátodo. Por sua vez, o combustível utilizado, é o hidrogénio com elevado grau de pureza.

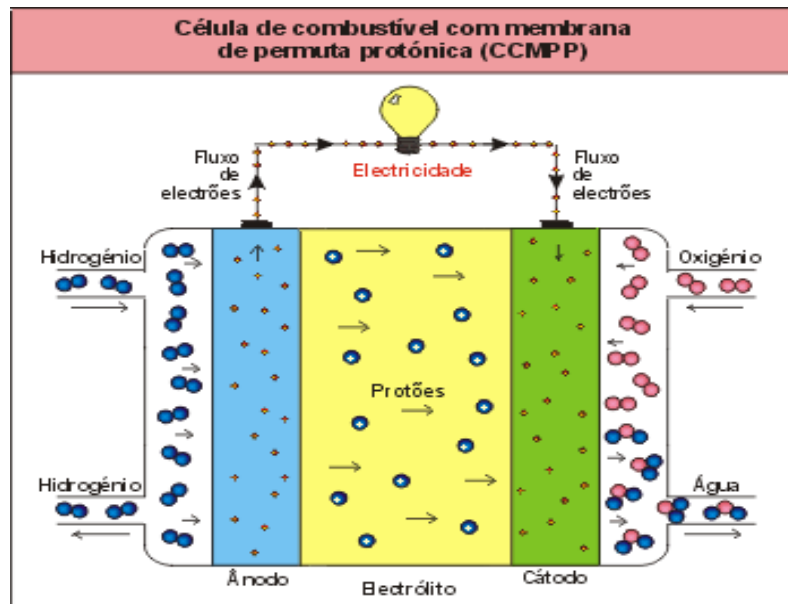



Figura 2.4 – CCMPP

O único líquido na célula é a água, e, devido a esse facto, os problemas de corrosão são mínimos. A presença da água líquida na célula é de extrema importância, porque a membrana de permuta protónica deve ser mantida hidratada, durante o funcionamento da célula de combustível. Devido às limitações apresentadas em relação à temperatura, impostas pelo polímero da membrana e pela necessidade da sua hidratação, esta célula de combustível funciona para temperaturas, usualmente, inferiores a 100 ºC. Sendo assim, as velocidades de reacção reduzidas, são compensadas pela

utilização de catalizadores e eléctrodos sofisticados. O catalizador utilizado é a platina. Desenvolvimentos recentes, permitiram a utilização de pequenas quantidades de catalizador, sendo o custo da platina uma pequena parte do preço total da CCMPP.

Para além do hidrogénio como combustível, as células de combustível CCMPP, podem funcionar com combustíveis alternativos (células de combustível indirectas), desde que estes sejam previamente convertidos em hidrogénio. Os combustíveis utilizados nas CCMPP indirectas, podem ser metanol, etanol, metano, propano, entre outros.

Uma variante importante da CCMPP, é a célula de combustível com alimentação directa de metanol (CCDM). Como combustível, o metanol tem diversas vantagens em relação ao hidrogénio – para além de ser líquido à temperatura ambiente, pode ser facilmente transportado e armazenado – . Os principais problemas das CCDM, são o sobrepotencial electroquímico no ânodo, o que torna a célula menos eficiente, e o facto do metanol, difundir através da membrana de permuta protónica (MPP) do ânodo para o cátodo. No entanto, actualmente, os investigadores desta tecnologia, estão a alcançar progressos importantes que resolvem parcialmente estes problemas, tornando este tipo de células de combustível potencialmente útil, para ser utilizado em equipamentos eléctricos portáteis e, igualmente, em meios de transporte.

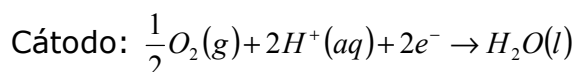
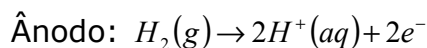
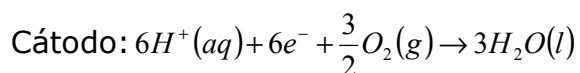
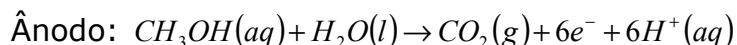
Reacções CCMPP

Ânodo: $H_2(g) \rightarrow 2H^+(aq) + 2e^-$

Cátodo: $\frac{1}{2}O_2(g) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2O(l)$

Reacções CCDM

Ânodo: $CH_3OH(aq) + H_2O(l) \rightarrow CO_2(g) + 6e^- + 6H^+(aq)$

Cátodo: $6H^+(aq) + 6e^- + \frac{3}{2}O_2(g) \rightarrow 3H_2O(l)$

2.2.2 - Células de Combustível Alcalinas (CCA)

Nas células de combustível alcalinas, o electrólito utilizado é uma solução concentrada de KOH (85 %peso) para temperaturas elevadas (~ 250 ºC) e menos concentrada (35 – 50 %peso) para temperaturas inferiores (< 120 ºC). As pilhas CCA utilizadas no programa Apollo da NASA continham uma solução de KOH com 85 %peso e funcionavam à temperatura de 250 ºC.

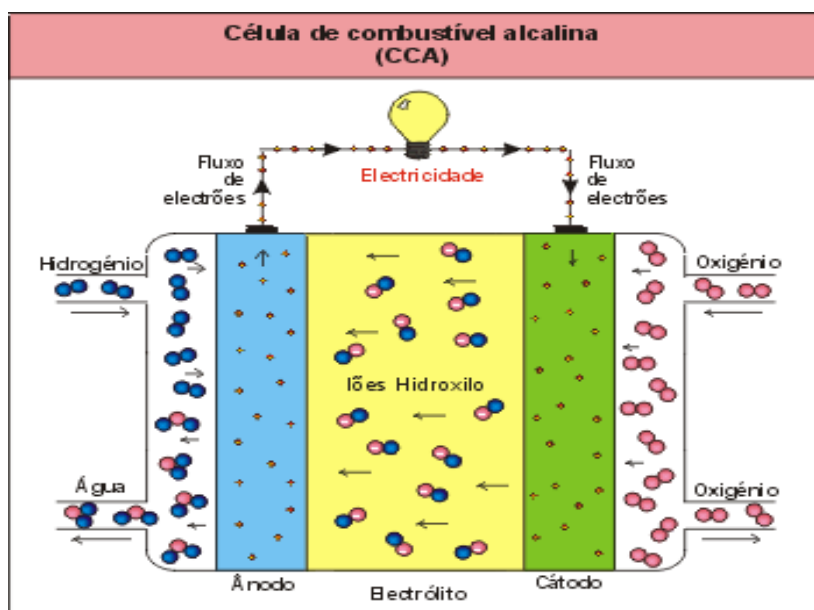
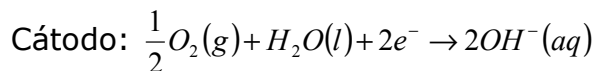



Figura 2.5 – CCA

O problema das velocidades de reacção baixas (baixas temperaturas) é superado pela utilização de eléctrodos porosos, com platina impregnada, e com a utilização de pressões elevadas. Neste tipo de células de combustível, a redução do oxigénio no cátodo é mais rápida em electrólitos alcalinos, comparativamente com os ácidos. Devido a essa redução, existe a possibilidade da utilização de metais não nobres, neste tipo de células. As principais desvantagens desta tecnologia, são o facto dos electrólitos alcalinos (p. ex. NaOH e KOH) dissolverem o CO_2 e a circulação do electrólito na célula, tornando o funcionamento desta mais complexo. No entanto, o electrólito apresenta custos reduzidos.

Reacções CCA

Ânodo: $H_2(g)+2OH^-(aq)\rightarrow 2H_2O(l)+2e^-$

Cátodo: $\frac{1}{2}O_2(g)+H_2O(l)+2e^- \rightarrow 2OH^-(aq)$

2.2.3 - Células de Combustível Ácido Fosfóricas (CCAF)

As células de combustível ácido fosfóricas, foram as primeiras a ser produzidas comercialmente e apresentam uma ampla aplicação a nível mundial. Muitas unidades de 200 kW, produzidas pela empresa "International Fuel Cells Corporation", estão instaladas nos Estado Unidos e na Europa.

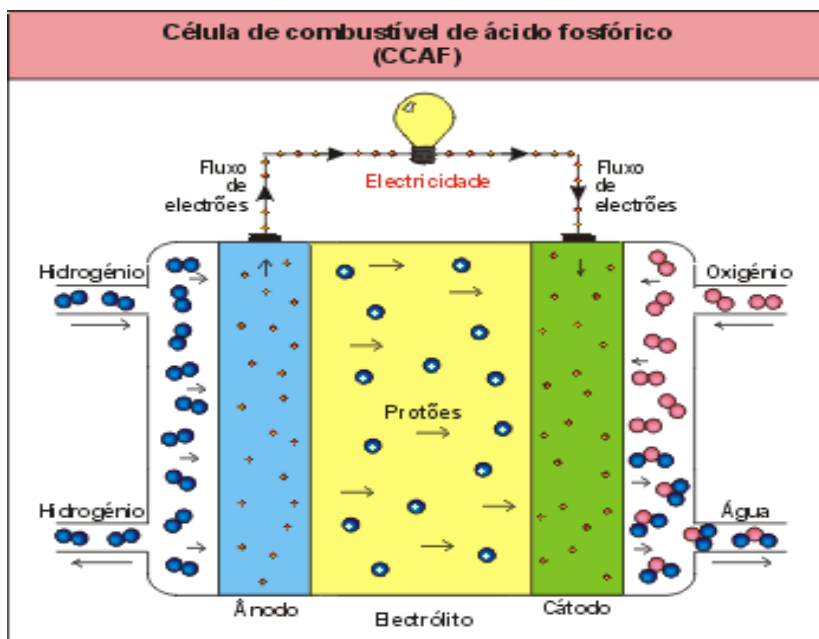



Figura 2.6 – CCAF

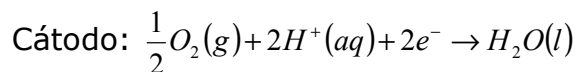
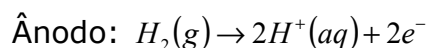
Neste tipo de células de combustível, o electrólito utilizado é o ácido fosfórico a ~ 100%, funcionando a temperaturas entre 160 a 220 ºC. Para temperaturas baixas, o ácido fosfórico é um mau condutor iónico e o envenenamento da platina, pelo CO no ânodo, torna-se mais severo.

A estabilidade relativa do ácido fosfórico, é elevada, em comparação com outros ácidos comuns e, consequentemente, a célula de combustível CCAF pode produzir energia eléctrica a temperaturas elevadas (220 ºC). Para além disso, a utilização de um ácido concentrado (~ 100%) minimiza a pressão de vapor de água, facilitando a gestão da água na célula. O suporte utilizado universalmente para o ácido, é o carboneto de silicone e o electrocatalizador utilizado no ânodo e cátodo é a platina.

O problema do armazenamento do hidrogénio, pode ser resolvido pela transformação do metano em hidrogénio e dióxido de carbono. No entanto, o equipamento necessário para esta operação, acrescenta à célula custos consideráveis, maior complexidade e tamanho superior. Contudo, estes sistemas apresentam as vantagens associadas à simplicidade de funcionamento da tecnologia das células de combustível, disponibilizando um sistema de produção de energia eléctrica seguro, e que envolve baixos custos de manutenção. Alguns destes sistemas funcionaram continuamente durante diversos anos, sem qualquer necessidade de manutenção ou intervenção humana.

Reacções CCAF

Ânodo: $H_2(g) \rightarrow 2H^+(aq) + 2e^-$

Cátodo: $\frac{1}{2}O_2(g) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2O(l)$

2.2.4 - Células de Combustível de Carbonato Fundido (CCCF)

A célula do combustível do carbonato fundido, utiliza como electrólito uma combinação de carbonatos alcalinos (Na, K, Li), que são estabilizados num suporte de $LiAIO_2$.

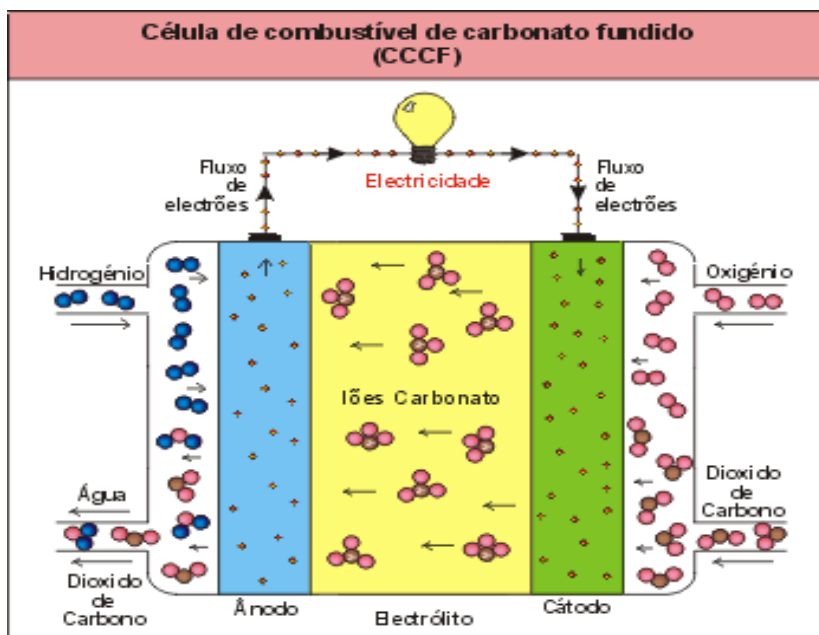
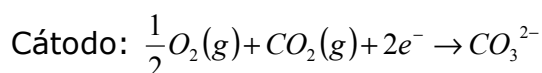
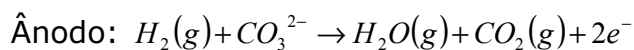



Figura 2.7 – CCCF

Este tipo de células de combustível, funciona na gama de temperaturas entre 600 e 700 ºC, para as quais os carbonatos alcalinos formam um sal altamente condutor de iões (ião carbonato). Para temperaturas elevadas, pode utilizar-se o níquel como catalizador no ânodo e o óxido de níquel no cátodo, não sendo necessária a utilização de metais nobres. Devido às temperaturas elevadas de operação, neste tipo de sistema pode utilizar-se directamente gás natural, não havendo a necessidade da utilização de "reformadores" externos. No entanto, esta simplicidade é contraposta pela natureza do electrólito, uma mistura quente e corrosiva de lítio, potássio e carbonatos de sódio.

Reacções CCCF

Ânodo: $H_2(g)+CO_3^{2-} \rightarrow H_2O(g)+CO_2(g)+2e^-$

Cátodo: $\frac{1}{2}O_2(g)+CO_2(g)+2e^- \rightarrow CO_3^{2-}$

2.2.5 - Células de Combustível de Óxido Sólido (CCOS)

As células de combustível de óxido sólido, funcionam na gama de temperaturas entre os 600 e 1000 ºC, possibilitando, assim, velocidades de reacção elevadas sem a utilização de catalizadores nobres. O electrólito utilizado neste tipo de célula é um metal óxido, sólido e não poroso, usualmente $Y_2O_3^-$ estabilizado em ZrO_2. Na gama de temperaturas elevadas de funcionamento, os iões de oxigénio são transportados do ânodo para o cátodo.

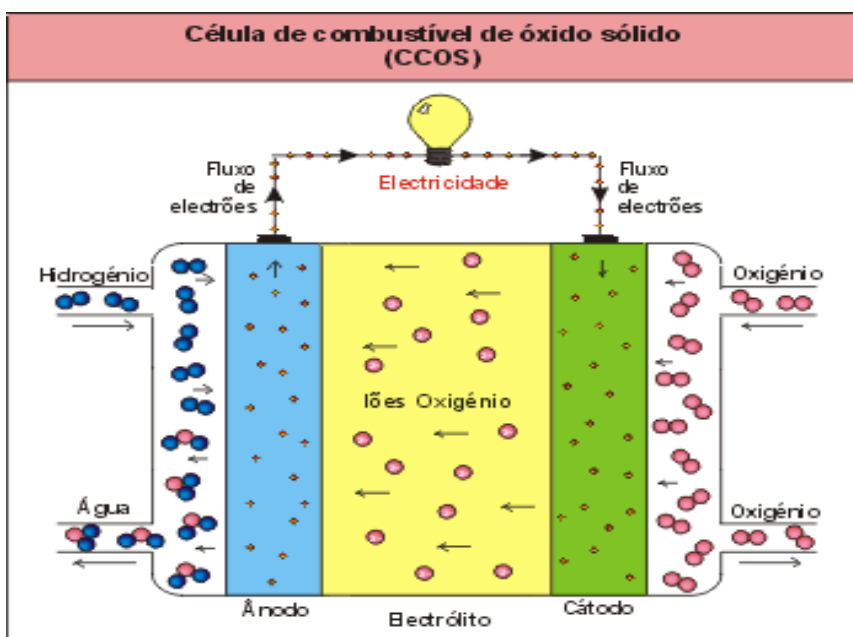



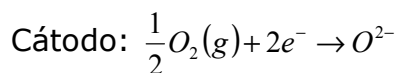
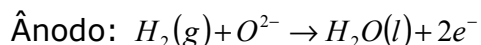
Figura 2.8 – CCOS

O metano pode ser utilizado directamente, não sendo necessária a utilização de uma unidade de reformação externa. No entanto, os materiais cerâmicos que constituem estas células acarretam dificuldades adicionais na sua utilização, envolvendo custos de fabrico elevados, e sendo necessários muitos equipamentos extra, para que a célula produza energia eléctrica. Este sistema extra, engloba o de pré aquecimento do combustível e do ar, e o sistema de arrefecimento. Apesar de funcionar a temperaturas superiores a

1000 ºC, o electrólito da CCOS mantém-se permanentemente no estado sólido. Tipicamente o ânodo é Co⁻ZrO_2 ou Ni⁻ZrO_2 e o cátodo é Sr⁻$LaMnO_3$.

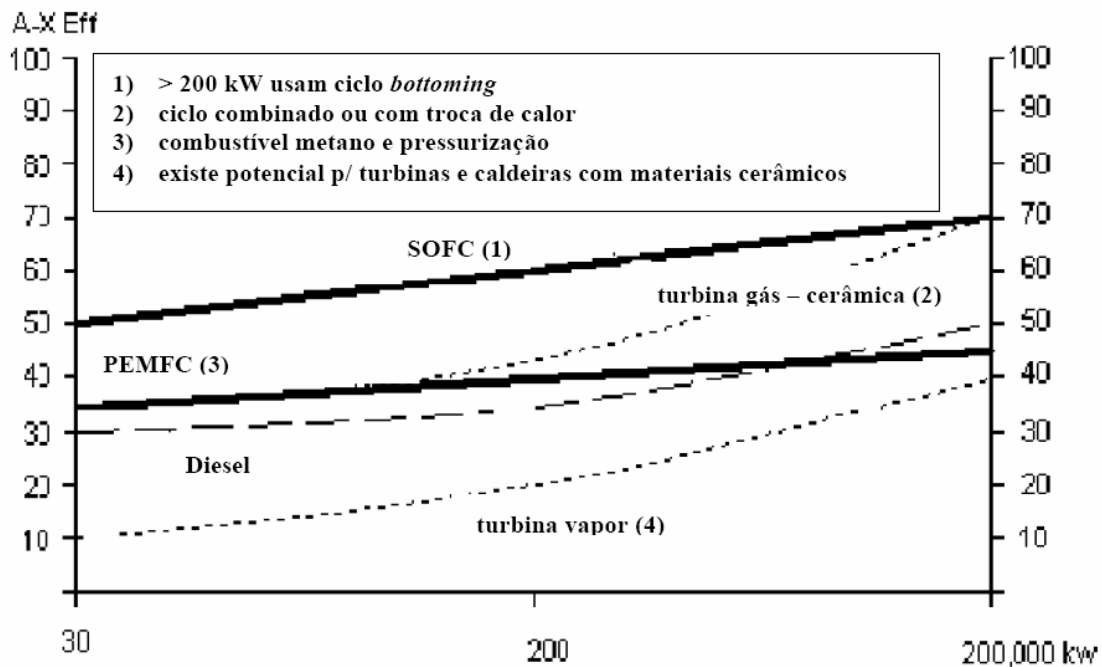
Reacções CCOS

Ânodo: $H_2(g)+O^{2-} \rightarrow H_2O(l)+2e^-$

Cátodo: $\frac{1}{2}O_2(g)+2e^- \rightarrow O^{2-}$

2.3 – Comparação entre Tipos de Células de Combustível

	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC
Eletrólito	membrana polimérica	KOH & H2O Ácido fosfórico	H_3PO_4 carbonato de lítio	$LiKaCO_3$ zircônia	estabilizado
Construção	plástico, metal	plástico, metal	aço	titânio	cerâmico
Reforma interna	não	não	não	sim	sim
Oxidante	ar	O_2 puro	ar	ar	ar
Temperatura interna	85 °C	120 °C	190 °C	650 °C	1000 °C
Eficiência	>30%	>32%	~ 40%	~ 42% até 60% associado a TG	~ 45% até 60% associado a TG
Aplicação típica	automóvel aeronave	veículos espaciais	geração distribuída	geração distribuída larga escala	geração distribuída larga escala

Fuel Cell (FC) = Célula de Combustível (CC)

2.4 – Relação entre Eficiência e Potência Instalada para Diversos Tipos de Células de Combustível

2.5 – Fabricantes de Células de Combustível

Fabricante	Faixa de potência (kW)
UTC	5 - 200
Ballard Generation Systems	1 - 250
Fuel Cell Energy	250 – 2.000
Hydrogenics Corporation	5 - 40
Lynntech Industries Ltd	1 - 300
H-Power	1 - 10
Dais-Analytic Corporation	3 - 11

Principais fabricantes de células de combustível no ano de 2001

2.6 – Dados sobre Custos Específicos de Investimento e de Geração de Células de Combustível

Tipo de tecnologia	Fonte	Custo de investimento (US$/kW)
PEMFC		
10 kW (1997))	Barbir e Gomez 1997	3.000
(futuro)	Barbir e Gomez 1997	1.150
7 kW (2001)	Plug Power 1999	1.215
(2003)	Plug Power 1999	575
Não especificado	[3]	1.400
AFC		
Não especificado	[3]	2.700
PAFC		
25 kW (futuro)	Mugerwa 1993	2.250
250 kW (futuro)	Mugerwa 1993	
	Simader 1994	2.440
	Hirschenhofer 1994	não fornecido
	Carlsson 1997	3.500
100 MW	EPRI 1988	3.000
Não especificado	[3]	1.000
200 kW (venda)	UTC	3.000
MCFC		
25 kW (futuro)	Mugerwa 1993	1.355
250 kW (futuro)	Mugerwa 1993	1.740
3,25 MW (futuro)	Mugerwa 1993	1.330
100 MW (futuro)	Mugerwa 1993	600
100 MW c/reforma externa (futuro)	Bohme 1994	2.900
100 MW c/reforma interna (futuro)	Bohme 1994	2.000
100 MW c/ combustível reciclado (futuro)	Bohme 1994	1.700
2 MW pré-comercial	EPRI 1995	1.700
2 MW comercial	EPRI 1995	1.200
Não especificado	[3]	2.600
SOFC		
Não especificado (futuro)	Murugesamoorthi 1993	1.000
Não especificado (futuro)	Ippommatsu 1996	2.000
Não especificado (futuro)	GRI 1999	700
Não especificado	[3]	3.000

Fuel Cell (FC) = Célula de Combustível (CC)

Note-se que estes custos, referem-se regra geral, a projecções de curto ou médio prazos na época da publicação da referência [Relatório Técnico DPP / PER – 1165/01 de Dez/2001]. Actualmente, o custo estimado de aquisição

de uma célula de combustível é de US$ 3000 – 4500/kW para uma célula de ácido fosfórico de 200 kW, fornecida pela UTC.

2.7 – Vantagens e Desvantagens das Células de Combustível

As vantagens das células de combustível são:

- Uma célula de combustível, pode converter mais do que 90% da energia contida num combustível, em energia eléctrica e calor (não há dependência do ciclo de Carnot). No ano de 1996, as células de combustível com ácido fosfórico (CCAF) apresentavam uma eficiência de conversão eléctrica de 42%, com uma elevada produção de calor;
- Centrais de produção de energia através de células de combustível podem ser implementadas junto dos pontos de fornecimento, permitindo a redução dos custos de transporte e de perdas energéticas nas redes de distribuição;
- A aptidão para cogerar calor, ou seja, para além de produzir electricidade, produz, igualmente, vapor de água quente;
- Devido ao facto de não possuírem partes móveis, as células de combustível, apresentam maiores níveis de confiança comparativamente com os motores de combustão interna e turbinas de combustão. Estas, não sofrem paragens bruscas, devido ao atrito ou falhas das partes móveis durante a operação;
- A substituição das centrais termoeléctricas convencionais, que produzem electricidade a partir de combustíveis fósseis por células de combustível, melhorará a qualidade do ar e reduzirá o consumo de água e a descarga de água residual;
- As emissões de uma central eléctrica de células de combustível, são dez vezes menores do que as normativas ambientais mais restritas. Para além disso, as células de combustível, produzem um nível muito inferior de dióxido de carbono;

- A natureza do funcionamento, permite a eliminação de muitas fontes de ruídos, associadas aos sistemas convencionais de produção de energia por intermédio do vapor;
- A flexibilidade no planeamento, incluindo a modulação, resulta em benefícios financeiros e estratégicos, quer para as unidades de células de combustível, quer para os consumidores;
- As células de combustível, podem ser desenvolvidas para funcionarem a partir de gás natural, gasolina ou outros combustíveis fáceis de obter e transportar (disponíveis a baixo custo). Um reformador químico que produz hidrogénio enriquecido, possibilita a utilização de vários combustíveis gasosos ou líquidos, com baixo teor de enxofre;
- Na qualidade de tecnologia alvo de interesse recente, as células de combustível apresentam um elevado potencial de desenvolvimento. Em contraste, as tecnologias competidoras das células de combustível, incluindo turbinas de gás e motores de combustão interna, já atingiram um estado avançado de desenvolvimento.

As desvantagens das mesmas são:

- A necessidade da utilização de metais nobres como, por exemplo, a platina que é um dos metais mais caros e raros no nosso planeta;
- O elevado custo actual, em comparação com as fontes de energia convencionais;
- A elevada pureza, que a corrente de alimentação hidrogénio deve ter, para não contaminar o catalisador;
- Os problemas e os custos associados ao transporte e distribuição de novos combustíveis como, por exemplo, o hidrogénio;
- Os interesses económicos associados às indústrias de combustíveis fósseis e aos países industrializados.

2.8 – Aplicações

As aplicações mais importantes para as células de combustível, são as centrais de produção de electricidade estacionárias e de distribuição, veículos eléctricos motorizados e equipamentos eléctricos portáteis.

Figura 2.9 – Equipamento eléctrico portátil

Figura 2.10 – Veículos eléctricos motorizado

Figura 2.11 – Células de combustível para centrais eléctricas estacionárias

Figura 2.12 – Células de combustível para centrais eléctricas de distribuição

3 – Energia Eólica

A história, mostra que o vento constitui uma das primeiras formas de energia aproveitada pelo homem. No passado, em diferentes situações, a energia dos ventos ou energia eólica já foi rotineiramente utilizada. Hoje o seu aproveitamento é feito com toda a sofisticação que a moderna tecnologia permite.

A energia dos ventos, pode ser considerada como uma das formas em que se manifesta a energia proveniente do sol e que atinge o nosso planeta. De facto, os ventos são causados pelo aquecimento não uniforme da atmosfera. A não uniformidade no aquecimento, é devida à orientação dos raios solares e aos movimentos da Terra. As regiões tropicais, que recebem os raios solares quase que perpendicularmente, são as mais aquecidas e, nestas regiões, o ar quente tende a subir, sendo substituído pelas massas frias das

regiões polares, originando, assim, o movimento do ar (vento) em escala planetária. Sobreposto a este sistema global, encontram-se ventos locais, cuja origem tem mecanismos próprios (micro-climas). Um dos mais importantes é encontrado nas regiões costeiras, onde sopram as brisas marítimas ou lacustres. Durante o dia, o ar localizado sobre o interior, é mais aquecido do que aquele localizado sobre grandes massas de água. Este factor, pode ser a consequência da absorção de uma maior quantidade de energia, necessária ao aquecimento e à evaporação da água. Sobre o interior a evaporação é sensivelmente menor e por conseguinte há mais energia disponível para o aquecimento do ar. Neste período, as brisas sopram em direcção ao interior, enquanto que no período nocturno inverte-se a direcção, devido ao facto de o calor específico da terra ser menor que o da água, fazendo com que o ar arrefeça mais lentamente sobre as massas de água.

A energia eólica, embora inesgotável, não é captável de uma forma contínua e uniforme. Os ventos variam com as estações do ano e é comum haver dias de calmaria. Mesmo num dia com vento, este varia de intensidade no decorrer do mesmo. A descontinuidade de captação de energia eólica não é, todavia, um empecilho à sua utilização. De facto, os aeromotores que accionam bombas ou dispositivos para irrigação e moagem não necessitam, em regra, de uma perfeita regularidade de horário e nível energético. No caso dos motores eólicos, que accionam geradores de energia eléctrica, recorre-se, normalmente, a uma das seguintes soluções:

- Armazena-se a energia eléctrica através de baterias e outros mecanismos;
- Suplementa-se a energia da rede eléctrica local, quando o motor eólico não funciona;
- Suplementa-se a energia da rede eléctrica local, quando o motor eólico funciona. Torna-se necessário lançar mão a recursos que mantenham a rotação do alternador constante, para não afectar a frequência da rede à qual, se encontra conectado. Este problema, já está tecnicamente solucionado;

- Gera-se energia eléctrica, para um sistema consumidor independente da rede pública, ligando-se a carga de forma compatível com a energia que o aeromotor fornece, o que hoje pode ser feito, inclusivamente, de forma automática.

Em termos económicos, devido ao grande avanço tecnológico e utilização difundida, a energia eólica é, presentemente viável.

Diversos factores contribuíram para o uso da energia eólica na produção de electricidade: as crises do petróleo dos anos 70, com restrições de suprimento impostos pelos países exportadores de petróleo (OPEP), fizeram com que os preços dos combustíveis oscilassem abruptamente, assim como a queda do custo de produção dos turbinas eólicas, o aumento das tarifas de energia eléctrica convencional, as isenções oferecidas por países sobretudo do primeiro mundo, tais como EEUU, Dinamarca, Alemanha, Holanda, Espanha, e Inglaterra, as considerações de fundo ecológico e as mudanças estruturais no quadro institucional desses países.

A elaboração de um projecto eólico envolve as seguintes etapas:

- Estudo sobre o comportamento do vento na região onde se pretende instalar o projecto;
- Estudo de viabilidade técnica;
- Estudo de viabilidade económica;
- Selecção dos equipamentos;
- Transmissão da energia produzida aos centros de consumo.

3.1 – Conceitos Básicos

3.1.1 – Potência Fornecida pelo Vento

O cálculo da potência fornecida pelo vento e da potência útil do aerogerador pode ser feito por processos de menor ou maior complexidade. A fórmula de

Betz, permite o cálculo da potência máxima teórica do vento, recuperável através da superfície circular ***S*** coberta pelas pás no seu movimento de rotação. Os parâmetros usados por Betz para o cálculo da potência máxima ***P_{max}*** são a massa específica ***r*** (massa da unidade de volume de ar) e a velocidade do vento **V (m/s)**.

$$P_{\max} = \frac{16}{27}\frac{\rho}{2}SV^3$$

A grandeza 16/27 = 0,5926 foi designada por Betz, o coeficiente de potência e é representada por ***C_p***.

$$C_P = \frac{2P_{\max}}{\rho V^3}$$

A potência máxima aproveitável pelo aerogerador, corresponde teoricamente a 59,26% da potência total cedida pelo vento, isto é, a ***C_p*** = 0,5926. Na realidade, a potência total fornecida pelo vento é ainda menor, devido às perdas aerodinâmicas e mecânicas nos aerogeradores.

3.1.2 – Distribuição das Velocidades do Vento

A distribuição de frequência da velocidade do vento, mostra por quanto tempo ocorreram velocidades do vento, dentro de cada uma das classes de velocidade em intervalos, normalmente, de 1 m/s. Por outras palavras, a frequência obtém-se dividindo o número de observações em cada classe de velocidade, pelo número total de observações realizadas dentro do período considerado. Se a distribuição de frequência for desconhecida, pode ser calculada pela função de distribuição de Weibull, ***f(v)*** cuja fórmula geral é dada por:

$$f(v) = \frac{c}{A}\left(\frac{v}{A}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{v}{A}\right)^c}$$

onde ***f(v)*** é a distribuição de probabilidade, ***v*** é a velocidade do vento (m/s), ***c*** é o factor de forma adimensional e ***A***, o factor de escala (m/s).

O factor de forma, indica a uniformidade da velocidade, ou seja, os valores mais altos de ***c*** fazem com que a curva se concentre mais em determinada faixa de velocidade do vento. Já o factor de escala ***A*** está relacionado com a velocidade média do vento e à medida que cresce, mais se aproxima da área de melhor aproveitamento do potencial eólico das actuais turbinas.

Devemos ter em atenção, tanto nos histogramas de velocidade do vento, como na curva de frequência de velocidade de Weibull, que a velocidade média do vento, no período considerado, não coincide com a velocidade de maior ocorrência, que corresponde ao pico da curva.

3.1.3 – Factor de Capacidade

O factor de capacidade é um dos parâmetros que mostra a evolução de máquinas para a geração de electricidade e é definido como a relação entre a produção bruta de energia eléctrica e a potência nominal num período de tempo. O período pode ser, anual, mensal, ou outro previamente estabelecido. Por outras palavras, é a relação entre a potência eléctrica média no período considerado e a potência nominal do aerogerador, dado sob a forma de percentagem.

$$\text{Factor de Capacidade} = \frac{P}{P_n}$$

P = Potência eléctrica (kW)

P_n = Potência nominal (kW)

3.1.4 – Influência da Altura e da Rugosidade do Solo

A velocidade do vento, muda com a altitude em relação ao solo e com a rugosidade do terreno. Regra geral, a velocidade do vento aumenta à medida que nos afastamos do solo. Obstáculos naturais e artificiais alteram o fluxo do vento. A equação exponencial abaixo relaciona a sua velocidade com a altura em relação ao solo.

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{H}{H_0} \right)^n$$

onde $\boldsymbol{v_o}$ é a velocidade do vento à altura $\boldsymbol{H_o}$, $\boldsymbol{v}$ é a velocidade do vento à altura $\boldsymbol{H}$ e $\boldsymbol{n}$ é um coeficiente que varia de 0,10 a 0,40 e representa o grau de rugosidade do terreno. É comum utilizar-se esta expressão de forma genérica com expoente n=1/7. A variação da velocidade em função da altura, pode ser apresentada na forma de lei logarítmica.

$$\frac{v}{v_0} = \frac{\ln\left(\frac{H}{Z_0} \right)}{\ln\left(\frac{H_0}{Z_0} \right)}$$

onde $\boldsymbol{Z_o}$ é um parâmetro de rugosidade do solo, dado em metros. Esta expressão ajusta-se bem para alturas na faixa de 30 a 50 m.

Valores de Z_0 e n em função do tipo de terreno

Tipo de terreno	Zo (metros)	n
Plano (mar, areia, neve)	0,001-0,02	0,10-0,13
Moderadamente rugoso (ervas curtas, campos de trigo ou cereais)	0,02-0,3	0,13-0,20
Rugoso (bosques, bairros)	0,3-2	0,20-0,27
Muito rugoso (cidades, edifícios)	2,10	0,27-0,40

Na avaliação da energia potencial de um sistema eólico, é importante converter os dados de vento disponíveis para a altura do eixo da turbina.

De acordo com a fórmula de Betz, a energia eólica é proporcional ao cubo da velocidade do vento, e esta relação é expressa pela equação abaixo apresentada.

$$\frac{E}{E_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^{3n}$$

onde, ***3n*** varia entre 0,30 e 1,20.

3.1.5 – Cálculo da Energia Produzida

O parâmetro de maior interesse no projecto de um sistema eólico, é a quantidade de energia útil produzida pelo conjunto de aerogeradores que o compõem. A energia produzida, é função das características do aerogerador e da distribuição da velocidade do vento. Sendo nos dada a frequência de distribuição da velocidade do vento, e a curva de potência da turbina, a energia média bruta esperada a ser produzida pela turbina, será calculada por.

$$E = \sum_{i=1}^{i=n} P_i f(U_i)$$

onde:

E = energia média bruta fornecida pela turbina

P_i = potência fornecida na velocidade U_i

$f(U_i)$ = frequência de ocorrência da velocidade U_i

Ui = velocidade do vento na altura do eixo

Curvas de Potência

As curvas de potência de uma turbina, são dadas em função da velocidade do vento. Estas, são fornecidas pelo fabricante do equipamento e baseiam-se no seu desempenho teórico, ou seja, calculado segundo parâmetros do projecto.

Considerações sobre o Vento

Algumas curvas de potência, são dadas considerando a velocidade do vento a 10 m de altura e uma certa rugosidade. Se essas considerações não forem válidas para o local, alguns ajustes, na curva de potência, terão de ser considerados.

Considerações sobre a Densidade do Ar

As curvas de potência, geralmente são expressas considerando a densidade do ar ao nível do mar (1,224 kg/m3). Alguns ajustes serão necessários, caso o local considerado não esteja ao nível do mar. É recomendável que os mesmos sejam realizados pelo fabricante do equipamento.

Condição das Pás

As curvas de potência, são calculadas considerando que a superfície das pás é completamente lisa e não existe nenhum tipo de incrustação. Esta condição, é raramente obtida em operação. As curvas de potência obtidas com o sistema a funcionar, irão ser consideravelmente diferentes das teóricas, caso as pás estejam sujas ou limpas.

Processo de Medição

Durante o processo de medição para levantamento das curvas de potência do aerogerador, existem diversas possibilidades de introdução de erro. Há a necessidade, portanto, de uma descrição completa do processo e em particular das precauções que devem ser tomadas para que o anemómetro de referência esteja relacionado com a potência real medida pela turbina. O processo de medição, deve ser conforme aos padrões AWEA (American Wind Energy Association).

Estimativa da Energia Produzida por um Aerogerador Simples

A frequência de distribuição de potência, é obtida pela multiplicação do número de horas de uma dada velocidade do vento, pela potência obtida da curva de potência x velocidade do vento do aerogerador escolhido. A soma dos resultados sobre o intervalo das velocidades dadas, fornece a energia total produzida pela turbina, para uma dada distribuição de temperatura.

Embora esta metodologia forneça uma estimativa razoável para a energia total produzida por uma turbina, a energia real será menor do que a especificada, devido a factores que não foram contabilizados nos cálculos. Os factores a considerar são: turbulências, tempo de manutenção, perdas na linha, correcção na densidade do ar, entre outros.

Análise da Direcção do Vento

Os dados da direcção do vento, são usados para determinar a melhor adaptação das turbinas à localidade escolhida, independentemente de elas estarem localizados em fila ou em linha. Ventos multidireccionais, requerem um espaço grande entre as turbinas, para que sejam reduzidas as perdas. As

informações sobre a direcção do vento e sua magnitude, geralmente são apresentadas em gráficos do tipo rosa dos ventos (*Figura 3. 1*).

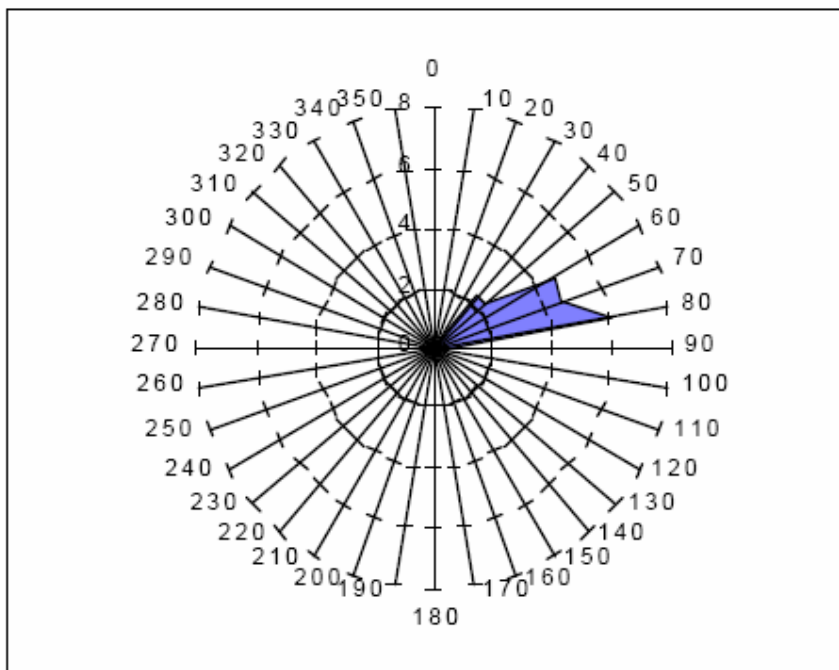



Figura 3.1 – Gráfico rosa dos ventos

Cálculo da Turbulência

Outro aspecto importante que deve ser tido em consideração, é a turbulência do vento. Esta, é caracterizada por perturbações rápidas ou irregularidades na velocidade e/ou direcção do vento. O indicador mais utilizado de turbulência, é o desvio padrão da velocidade do vento. Este valor é dividido pela velocidade concorrente para se obter a intensidade da turbulência (TI). Valores de TI menores que 0.10, indicam baixa turbulência, valores entre 0.10 e 0.25, turbulência moderada e valores acima de 0.25, alta turbulência.

3.2 – Estudo do Comportamento do Vento

Os ventos, são gerados pelos movimentos de massas de ar provenientes do aquecimento não uniforme da atmosfera, o que cria diferentes temperaturas,

pressões e densidades do ar, que, associadas às forças centrífugas e de Coriolis, provenientes do movimento de rotação da Terra, dão origem às correntes de ar. Este fluxo de ar, ocorre normalmente das zonas de alta pressão para as zonas de baixa pressão. Pelo efeito de convecção, o vento modifica-se diariamente. O calor específico da terra é inferior ao da água, fazendo com que a temperatura do ar se eleve sobre o interior com maior rapidez do que sobre o litoral. A baixa densidade do ar quente, faz com que ele se expanda e se eleve criando um gradiente de pressão, onde o ar frio, mais denso, proveniente do mar, ocupa o seu lugar. Dá-se assim a circulação do ar, chamada de brisa marítima. À noite, porém, esta circulação é invertida, uma vez que a terra arrefece mais rapidamente que o mar.
Porém, nem sempre esta situação se verifica, pois muitas vezes a influência de ventos dominantes faz com que predomine a direcção destes últimos.

O efeito da topografia, orografia e obstáculos na superfície terrestre, influência fortemente o fluxo do vento. Daí, observarmos hoje, países, como a Dinamarca, que instalam turbinas eólicas no mar ("off-shore"), onde não estão sujeitas às influências desses acidentes, o que faz com que o potencial eólico seja mais intenso, permitindo a utilização de turbinas de maior altura, uma vez que a velocidade do vento aumenta com a altura.

Como anteriormente se referiu, o vento é uma fonte de energia sujeita a variações sazonais. Apesar das incertezas, a magnitude do potencial médio do recurso, disponível num dado local, pode ser prevista uma vez que o clima segue padrões aproximados dependendo da época do ano, hora do dia e local definido. É importante observar, que a utilização da velocidade média anual, no cálculo de potência, pode levar-nos a obter resultados muito diferentes da realidade. Daí, a importância de se considerar a influência da sazonalidade e ainda mais de procurar ter disponíveis, séries temporais o mais possível detalhadas e precisas.

3.2.1 – Medições do Vento

O vento apresenta flutuações na sua velocidade em todas as direcções. Os seguintes sensores são mais comumente utilizados para fazer medições da componente horizontal do vento:

- Anemómetro de conchas ou de copos;
- Anemómetro de hélice ou aeronave;
- Anemómetro de "wild".

Os anemómetros são instalados em torres a uma altura geralmente de 10 metros ou mais. Quanto mais próxima for, a altura do eixo do aerogerador que se pretende instalar, melhor a informação. A antiga Rede Meteorológica Brasileira (INMET) utiliza anemómetros tipo "wild", com alturas variando entre 7 e 10 metros, onde eram realizadas apenas três leituras por dia (9:00, 15:00 e 21:00h), dependentes de interpretações subjectivas e anotações do observador. Também os anemómetros do tipo aeronave, utilizados em aeroportos, dependiam de observações do operador, não tinham alturas padronizadas e eram feitas 12 a 24 leituras por dia.

Já os anemógrafos, são instrumentos que se prestam para realizarem medições e armazenamentos contínuos dos dados de vento. Geralmente para se medir e registrar a velocidade e direcção do vento, utiliza-se um anemómetro, um leme e um registador que anota os dados em folhas ou fitas de papel (anemogramas), em fitas magnéticas, ou em equipamentos electrónicos (EEPROM), para posterior processamento em computadores.

3.3 – Estudo do Consumo Energético

Na elaboração de um sistema eólico, há a necessidade de um estudo do consumo de energia da comunidade a que destina o projecto, acrescido das

cargas provocadas pelas perdas envolvidas na transformação e na transmissão.

Para esse efeito, é necessário contar com os consumos horários para o dia do projecto.
Define-se dia de projecto, o dia em que as cargas ligadas, estão todas em funcionamento simultâneo, produzindo, assim, o maior consumo de energia. É importante, ressaltar que neste dia precisaremos da capacidade plena dos equipamentos de geração de energia, assim como dos equipamentos de apoio e dos sistemas de armazenamento.

Procedendo desta forma, o sistema será capaz de suprir as necessidades de consumo, e apresentará a possibilidade de satisfazer possíveis aumentos futuros de consumo.

No estudo do consumo energético, devem ser avaliados para o dia de projecto os seguintes itens:

- Distribuição por hora do consumo (kW);
- Consumo de energia (kW):
- Energia anual requerida (kWh).

3.4 – Estudo de Viabilidade

Além da necessidade de um bom potencial de vento, existem outros factores que afectam o desenvolvimento de um projecto eólico. Estes são avaliados dentro do contexto do estudo de viabilidade. A viabilidade de um projecto é examinada em três áreas:

- Viabilidade económica;
- Viabilidade técnica;
- Impacto ambiental.

3.4.1 – Viabilidade Económica

A viabilidade económica de um projecto eólico, depende do custo e valor do projecto comparado a outras opções de geração disponíveis. Existem várias técnicas de se avaliar a sua viabilidade económica. A escolha da técnica irá depender do contratante do projecto.
Os avanços tecnológicos e o crescimento do mercado têm contribuído para uma redução do custo da energia gerada via sistemas eólicos. Os custos são sensíveis ao tempo, ao tipo de terreno, ao tamanho da turbina e ao tamanho da planta. Os projectos eólicos, possuem custos de investimento relativamente elevados, se comparados com outros tipos de projecto de geração de grande porte. Mas em compensação possuem um custo de combustível zero e manutenção e operação baixos. A grande vantagem dos projectos eólicos é a ausência do risco relacionado com o aumento do preço dos combustíveis. Os principais custos envolvidos no projecto são:

Custo de Investimento:

- Turbina;
- Torre;
- Equipamentos complementares;
- Obra civil;
- Montagem e instalação;
- Equipamentos para controle e instrumentação;
- Subestação;
- Transmissão e facilidades de ligação;
- Despesas legais e administrativas;
- Taxas, obrigações, transporte;
- Ferramentas e equipamentos;
- Stock inicial de sobresselentes;
- Engenharia e gerência;
- Estudo do meio ambiente.

Operação e Manutenção:

- Mão-de-obra;
- Componentes,
- Programas de treino e segurança;
- Aluguer ou compra de guindastes.

3.4.2 – Viabilidade Técnica

O ponto mais relevante no estudo de viabilidade técnica é a caracterização dos recursos eólicos a partir da recolha de dados descrita na ***Secção 3.2.*** Outros Factores que devem ser considerados são:

- Alternativas de arranjo para o projecto;
- Estimativa de desempenho;
- Impactos sobre a rede.

3.4.3 – Impacto Ambiental

Alguns Factores, devem ser avaliados para se saber o nível de interferência que o projecto vai ter sobre o meio ambiente da localidade, entre os quais os seguintes:

- Impacto sobre a flora e fauna;
- Impacto visual (interferência na paisagem) e de ruído;
- Perigo para a aviação;
- Impacto sobre a tubagem enterrada;
- Impacto sobre o transporte rodoviário.

O conhecimento de cada um destes factores, é muito importante para a aprovação do projecto pelos órgãos governamentais competentes e também para a busca de medidas mitigadoras quando for o caso.

3.5 – Selecção dos Equipamentos

Os equipamentos básicos que compõem um projecto eólico são:

- Turbinas;
- Sistema supervisório e de aquisição de dados;
- Transformadores;
- Cabos e linhas de potência;
- Uma subestação;
- Facilidades de comunicação.

O número e tamanho das turbinas eólicas irão depender do tamanho do projecto e características da localidade. Os dispositivos utilizados para interligar as turbinas à rede são os mesmos usados em projectos convencionais.

3.5.1 – Tipos de turbinas

Há dois tipos básicos de turbinas, identificados pela orientação do seu eixo de rotação:

- Turbinas de eixo horizontal;
- Turbinas de eixo vertical.

As turbinas de eixo horizontal são as mais difundidas.

3.5.1.1 – Turbinas de Eixo Horizontal

Os principais elementos que compõem o sistema com turbinas horizontais são:

- Rotor;
- Eixo principal;
- Caixa multiplicadora;
- Eixo de alta velocidade;
- Gerador;
- Sistema integrado de transmissão;
- Mancal de posicionamento e sistema de posicionamento;
- Torre;
- Sensores, controle e sistemas de comunicação;

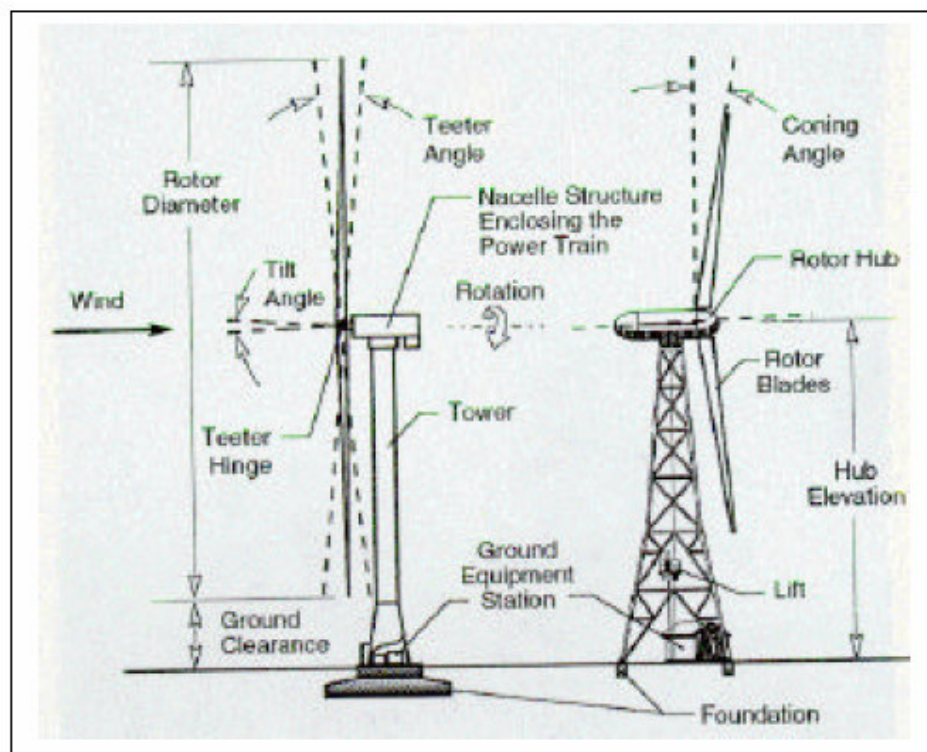



Figura 3.2 – Turbina do tipo horizontal

Rótor

O rótor de uma turbina é composto por um certo número de pás acopladas a um eixo central. Geralmente essas pás, são fabricadas em fibra de vidro reforçada ou madeira laminada revestida com resina. O eixo central é usualmente fabricado em aço onde as pás são acopladas com parafusos. A fibra de carbono, tem sido utilizada em algumas aplicações, embora o alto custo esteja inibindo o seu extensivo uso.

Os rotores horizontais são geralmente caracterizados em função da direcção da incidência do vento, tamanho, número de pás, passo e tipo. Outros parâmetros usados para descrever o rótor são:

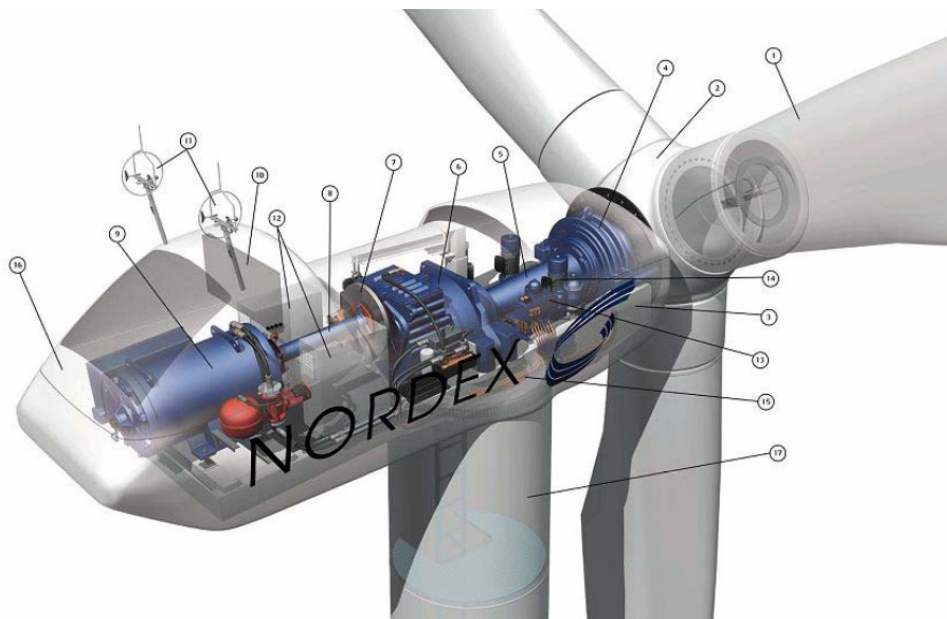
- Ângulo do cone;
- Velocidade da extremidade da pá;
- Rpm.

Legenda: 1 – pás do rótor; 2 – cubo do rótor; 3 – cabina; 4 – chumaceira do rótor; 5 – veio do rótor; 6 – caixa de velocidades; 7 – travão de disco; 8 – veio do gerador; 9 – gerador; 10 – radiador de arrefecimento; 11 – anemómetro e sensor de direcção; 12 – sistema de controlo; 13 – sistema hidráulico; 14 – mecanismo de orientação direccional; 15 – chumaceira do mecanismo de orientação direccional; 16 – cobertura da cabina; 17 – torre.

Figura 3.3 – Rótor usado numa turbina horizontal

Eixo principal

O eixo transfere o binário através do rótor para a caixa multiplicadora que está acoplada a um gerador. Em alguns projectos, onde não é necessário o uso de uma caixa de transmissão, o eixo é acoplado directamente ao gerador eléctrico. Quando é usado em conjunto com uma caixa de transmissão, o eixo principal é designado por eixo de baixa velocidade. O eixo possui também um sistema de frenagem, para uma paragem controlada do sistema. Este sistema tem por objectivo minimizar o binário existente no sistema de transmissão.

Caixa de engrenagens

A caixa de engrenagens transfere a potência e o binário de baixa rotação produzido pelo rótor em potência a binário de alta rotação requerido pelo gerador que compõe o sistema. Os dois tipos de caixa mais usados são:

- Caixa de eixo paralelo helicoidal;
- Caixa planetária.

Ocasionalmente, utiliza-se uma combinação das duas.

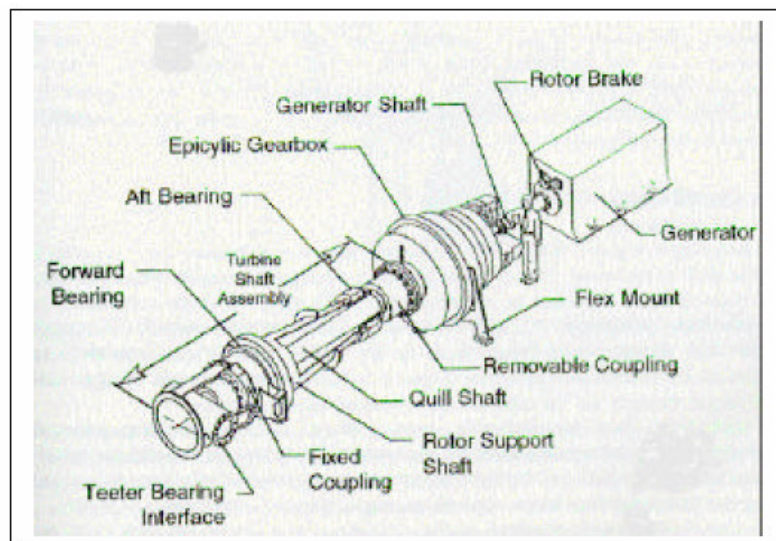



Figura 3.4 – Detalhe de uma caixa de engrenagem

Eixo de alta rotação

O eixo de alta rotação liga a saída da caixa de engrenagem ao eixo de accionamento do gerador. O eixo de alta rotação e/ou o eixo de baixa rotação apresenta um sistema de freio. O eixo de alta velocidade também inclui um elemento flexível ou acoplamento para acomodar pequenos desalinhamentos entre a caixa e o gerador.

Gerador

Os dois tipos básicos de geradores eléctricos são os síncronos, largamente utilizados como gerador e como motor onde se requer velocidade constante. Os assíncronos, são os mais utilizados em turbinas eólicas aos quais pertencem as máquinas de indução do tipo gaiola de esquilo. Ambos os tipos de geradores trabalham na faixa de 1800 rpm (para 4 pólos, 60-Hz) ou 1200 rpm (para seis pólos, 60-Hz).

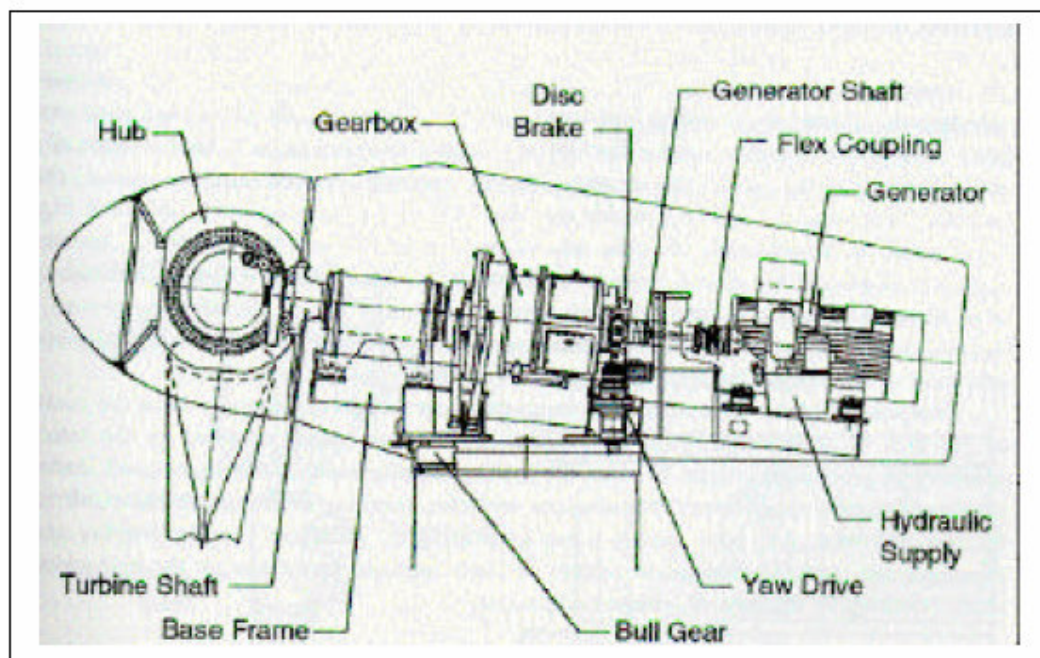



Figura 3.5 – Detalhe interno de uma turbina eólica com o gerador

Estrutura principal

Os equipamentos que compõem uma turbina (eixo, gerador, caixa de engrenagem) são montados em cima de uma estrutura em aço soldada. Esta estrutura geralmente é aparafusada no mancal de posicionamento.

Sistema integrado de transmissão

Em projectos recentes, a estrutura principal, caixa de engrenagem, e o suporte para o eixo de baixa velocidade formam um único conjunto. Neste tipo de sistema, os geradores são directamente ligados à estrutura. Dependendo do tamanho e detalhes do projecto, um sistema integrado poderá diminuir os custos do projecto, reduzir o número de componentes e aumentar a confiabilidade.

Mancal de posicionamento e sistema de posicionamento

O mancal de posicionamento permite que o conjunto rótor/turbina gire em torno do eixo vertical de suportação de forma a manter uma orientação óptima do rótor em relação ao vento. Num sistema de posicionamento dinâmico, o accionador é tipicamente um motor eléctrico ou hidráulico operando através de uma caixa de redução. O sensor para determinar a direcção do vento (algumas vezes chamado de anemómetro) pode ser montado na carnagem da estrutura, ou na torre de suportação.

Para turbinas instaladas na base da torre, o rótor e a carnagem giram livremente de acordo com a direcção do vento. É o chamado tipo de sistema de posicionamento passivo.

Torre

A torre suporta o rótor, carnagem, estrutura principal e sistema de posicionamento. Três tipos de estruturas são comumente usadas:

- Treliçada;
- Tubular;
- Estaiada.

As estruturas do tipo tubular são geralmente fabricadas em aço laminado ou concreto.
As estruturas do tipo treliçadas são fabricadas em aço estrutural. Geralmente possuem três ou quatro pernas. Uma escada do tipo quebra peito, permite o acesso ao topo da estrutura.
As estruturas estaiadas, possuem uma coluna central tubular ou treliçada em aço suportada por cabos, também, de aço.

Fundações

Todos os tipos de torre requerem uma fundação fabricada em concreto. As torres estaiadas necessitam também de fundações para os pontos de estaimento. A necessidade de um levantamento de informações geotécnicas a respeito do solo é extremamente importante e indispensável para o projecto da fundação.

Sensores, controle e sistemas de comunicação

Os sensores, controle, sistema de aquisição de dados e o sistema de comunicação são elementos extremamente importantes no projecto. Os sensores medem os parâmetros de operação e as condições da turbina. Controles individuais localizados na base da turbina, consistem em microprocessadores que monitorizam a operação da turbina e que resultam

em interrupções se os parâmetros de operação forem ultrapassados. O sistema central de controle, conhecido como Controle Supervisório e Aquisição de Dados pode geralmente partir ou interromper a operação de uma ou mais turbinas.

3.5.1.2 – Turbinas de Eixo Vertical

O eixo principal de uma turbina vertical é perpendicular à superfície da terra. As pás, que podem ser curvas ou rectas, giram em torno do eixo vertical. A configuração mais comum para este tipo de turbina é o projecto de Darrieus. Os principais elementos desse tipo de projecto são:

- Pás do rótor e tubo de binário;
- Cabos de suportação e mancais;
- Caixa de engrenagem;
- Eixo de alta velocidade;
- Gerador;
- Estrutura de suportação e fundação.

Elementos similares aos da turbina horizontal incluem a caixa de redução, o eixo de alta rotação e o gerador.

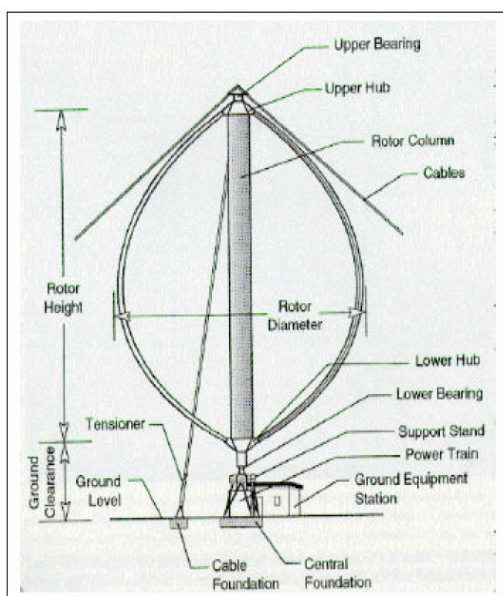



Figura 3.6 – Turbina do tipo vertical

Rótor coluna (ou eixo de rotação)

O rótor de uma turbina vertical, consiste geralmente de duas pás, embora o projecto de três pás esteja actualmente a ser testado. Embora mais caros os projectos de três pás, oferecem a vantagem de reduzir a amplitude do binário de pulsação de 360º. As pás são acopladas directamente ao rótor coluna ou através de tirantes. O tubo de binário por sua vez encontra-se acoplado à caixa de engrenagens e ao gerador.

Cabos de aço e mancais

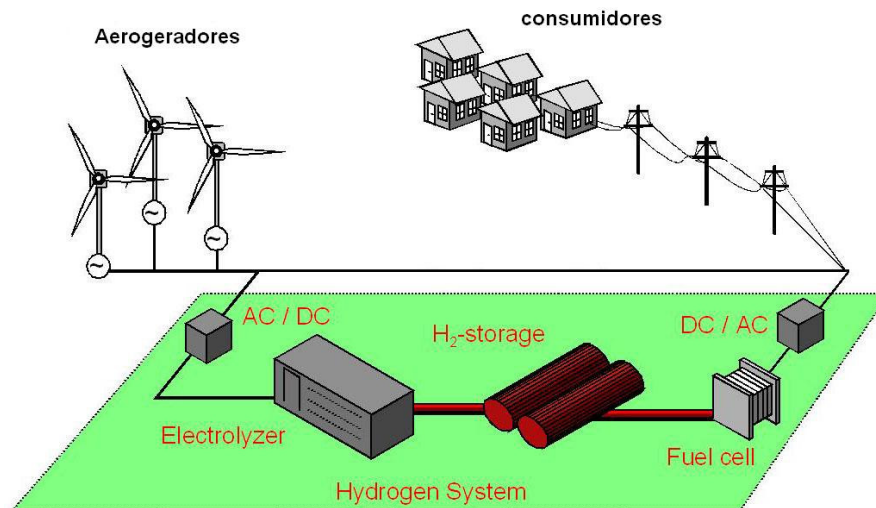
Os cabos de aço são utilizados para suportar o tubo de binário e mantê-lo na posição vertical. Os cabos são ligados na parte superior do tubo de binário a um mancal, e estendem-se até ao solo onde são fixos através de conexões em aço a uma fundação em concreto. Na parte inferior, o rótor coluna é suportado por um outro mancal.

Trem de Accionamento

A potência do eixo e o binário, são transferidos pelo tubo de binário da caixa de engrenagem ao eixo de alta velocidade e gerador, formando o trem de accionamento. O trem de accionamento inclui também um sistema de frenagem. Este elemento é similar ao usado para os sistemas horizontais.

Estrutura de suportação e fundação

Com excepção do tubo de binário, todos os outros elementos do trem de accionamento situam-se no solo. Estes elementos são montados numa única estrutura de suportação principal. Uma das vantagens dos sistemas de configuração vertical é que a maioria das actividades de manutenção são realizadas no solo.

4 – Sistemas Híbridos para Produção de Energia Eléctrica

Num sistema híbrido para produção de energia eléctrica, elementos de produção de energia e do seu armazenamento encontram-se combinados de tal forma, que podem suprir a procura de energia em zonas que se encontram afastadas da rede. Painéis solares fotovoltaicos, aerogeradores, células de combustível, sistemas com base em biomassa ou biogás, geradores a Diesel, pequenas quedas de água e outras fontes de energia eléctrica podem ser utilizadas para suprir a procura existente, aproveitando os recursos naturais da zona onde tem lugar a instalação. Antes de instalar um sistema híbrido eléctrico é essencial conhecer a necessidade energética e os recursos energéticos disponíveis na zona.

Frequentemente o dimensionamento das instalações fotovoltaica e eólica, por si sós, não conseguem, com segurança, garantir a satisfação das necessidades de consumo eléctrico durante todo o ano, a não ser que se disponha de outra fonte de produção eléctrica que complementará a produzida pela instalação.

Quando ocorrem picos de consumo muito acima do habitual, ou simplesmente exista um período normalmente prolongado de tempo nubloso e sem ar para mover os aerogeradores e existem necessidades básicas (como um frigorifico cheio de alimentos), urge resolver a situação.
Assim, existem casos em que é recomendável dispor de algum sistema de produção auxiliar que permita fazer frente, com segurança, nos períodos anteriormente citados. A inclusão de baterias ou outros sistemas de armazenamento de energia, muitas vezes, resolve tal problema.

4.1 – Alguns Tipos de Sistemas Híbridos com Armazenamento

Alguns dos sistemas híbridos utilizados para comunidades isoladas são:

- Sistemas Eólicos + Sistemas Fotovoltaicos com Baterias;
- Sistemas Eólicos + Sistemas Diesel com Baterias;
- Sistemas Eólicos + Células de Combustível com/sem Baterias;
- Sistemas Eólicos + Sistemas com base em Biomassa com Baterias;
- Sistemas Fotovoltaicos + Sistemas Diesel com Baterias;
- Sistemas Fotovoltaicos + Células de Combustível com/sem Baterias;
- Sistemas Fotovoltaicos + Sistemas com base em Biomassa com Baterias;
- Sistemas Eólicos + Sistemas Fotovoltaicos +Sistemas Diesel com Baterias;
- Sistemas Eólicos + Sistemas Fotovoltaicos + Sistemas Diesel + Células de Combustível com/sem Baterias;
- Sistemas Eólicos + Mini-Hídricas com Baterias;
- Sistemas Eólicos + Mini-Hídricas + Sistemas Fotovoltaicos com Baterias.

Um sistema híbrido, consiste na combinação de geradores eólicos, sistemas fotovoltaicos, geradores a Diesel, sistemas com base em biomassa ou biogás entre outros, com um sistema de armazenamento de energia eléctrica, mediante os potenciais energéticos do local onde este vai ser inserido.

A opção pelo sistema de geração distribuída mais adequado aproveitando-se os recursos naturais disponíveis nas comunidades depende também, entre outros factores, do consumo de energia eléctrica, dos preços dos equipamentos do sistema e das suas condições operacionais quando em funcionamento.

Estes sistemas vão produzir energia eléctrica através de fontes de energia renovável (vento, sol, água, etc.) de modo a satisfazer as necessidades de consumo da comunidade a que o sistema se destina. Por vezes, estes sistemas não conseguem satisfazer as necessidades referidas, pela ausência temporária de qualquer dos elementos referidos aplicáveis no sistema – Vento, sol, água, etc. –. Daí a importância da existência de um sistema de armazenamento constituído, por exemplo, por um banco de baterias. Toda a energia, produzida em excesso, vai sendo acumulada nas baterias, para que possa ser utilizada nos períodos em que o sistema não seja capaz de produzir a energia necessária.

As células de combustível podem, muitas vezes, substituir a necessidade de utilizar baterias. Toda a energia produzida em excesso, pelo sistema, vai, através de um electrolizador, produzir hidrogénio. Este será armazenado e, sempre que necessário, alimentará a célula de combustível, que por sua vez produzirá a energia necessária ao consumo, sobretudo nos períodos acima referidos.

5 – Estudo do Projecto de Electrificação Rural de Silveira

5.1 – O Local

As aldeias, Silveira de Cima e Silveira de Baixo, ficam situadas na Serra da Lousã, Distrito de Coimbra.

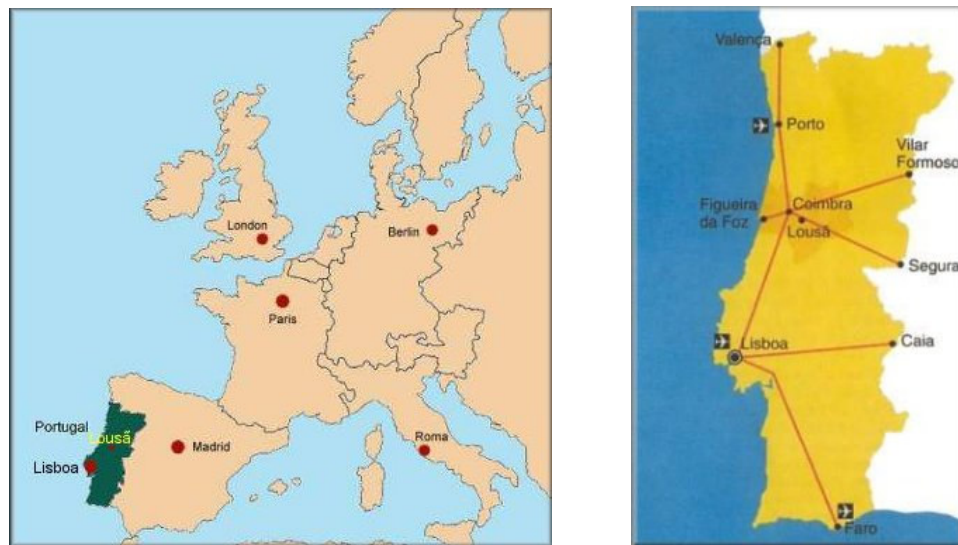



Figura 5.1 – Mapas

Vista da situação e aspecto, actuais, das aldeias – Silveira de Cima e Silveira de Baixo

Localização e delimitação

A Serra da Lousã constitui a extremidade sudoeste da Cordilheira Central - o bloco montanhoso mais importante de Portugal - e é caracterizada pela sua acentuada altitude (1205 m), fortemente sulcada por uma rede ramificada de vales, paisagem típica de grande parte do relevo das Beiras, e declives abruptos no seu rebordo noroeste. Fazendo parte das serras de xisto da Cordilheira Central, o ponto máximo da sua altitude denomina-se Alto do Trevim.

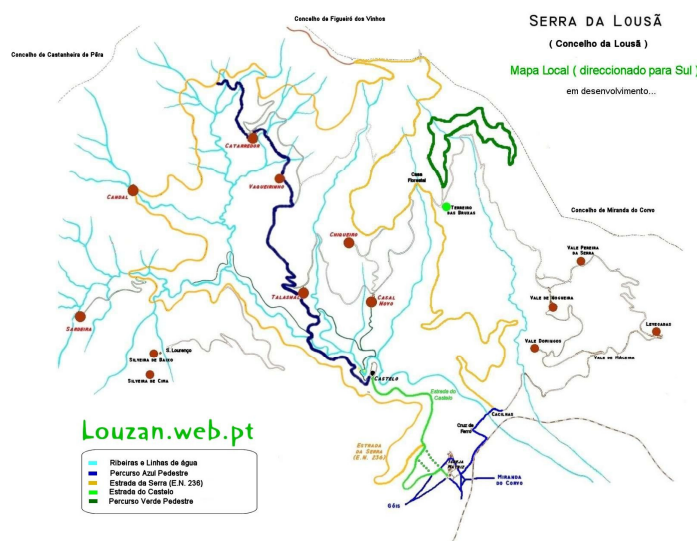



Figura 5.2 – Mapa Local

Geologia

Toda a Serra da Lousã é constituída por xistos - desde os argilosos, passando pelos xistos mosqueados até aos grauvaques (com inúmeras variedades intermédias). Aparecem também nesta Serra, pequenos afloramentos graníticos (responsáveis pelo metamorfismo de contacto imputado aos xistos e conferindo-lhes a variedade atrás citada), nomeadamente na extremidade Oeste da Cordilheira (Vila Nova), no fundo do Vale a Ribeira de Pêra (Coentral) e no vale marginal do Rio Alva (Avô). Há que destacar também as cristas quartzíticas, que são importantes na fisionomia da montanha, que pela sua dureza, se destacam na paisagem através das formas vigorosas que lhe imprimem.

Figura 5.3 – Mapa Local

Geomorfologia

A importância da tectónica na formação do relevo da Serra da Lousã é enorme. É ela que comanda o soerguimento das serras de xisto explicando

quer o seu relevo, quer os acentuados declives característicos da topografia serrana, quer ainda o vigoroso encaixe e adaptação da rede hidrográfica. O acidente mais importante, a Falha da Lousã, delimita a área montanhosa a Norte e apresenta uma direcção NE-SW. É responsável pela forma como a Norte a Serra da Lousã se ergue abruptamente com fortes declives, desde os 200 m até acima dos 1000 m de altitude. Paralelamente, desenvolvem-se a Sul, outros acidentes, os mais importantes dos quais se encontram materializados pelas falhas de Cebola e de Bogas, que delimitam, respectivamente a Norte e a Sul, o "Fosso do Zêzere". Outro aspecto marcante das serras de xisto é a erosão, responsável pelos cumes aplanados, pelos entalhes recentes, vigorosos dos rios de montanha, onde vertentes convexas mergulham em estreitos leitos torrenciais, desgastando profundamente os xistos. A Norte da Serra da Lousã, encontram-se as terras baixas da Bacia da Lousã, onde se situa a Vila do mesmo nome, constituída por solos e terraços aluviais Quaternários. Para além da bacia, há colinas sedimentares de baixa altitude (200 - 300 m) que confinam a Norte com o Rio Ceira, eventual responsável pela acumulação de muitos dos depósitos que as formam.

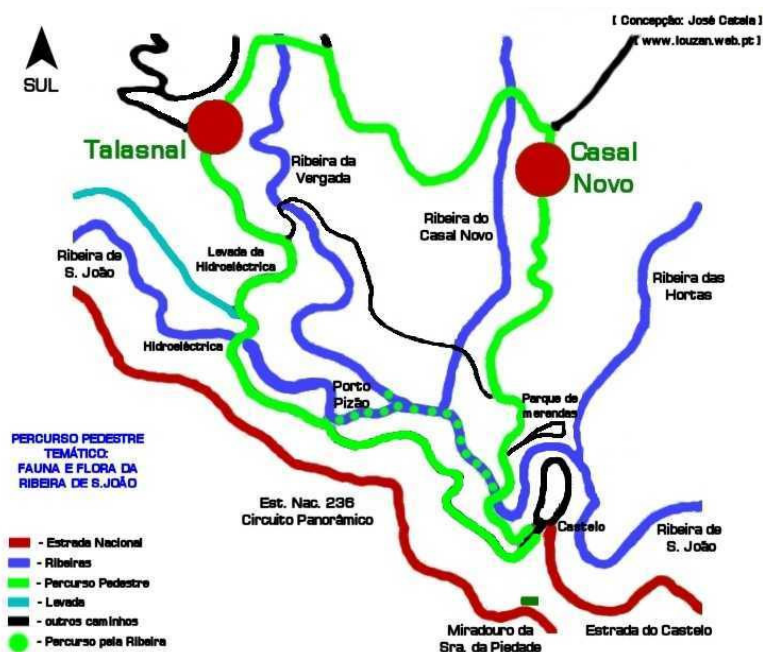



Figura 5.4 – Mapa Local

Clima

- Temperatura média anual – 14 ºC
- Temperatura média das máximas mensais – 18.4 ºC
- Temperatura média das mínimas mensais – 8.7 ºC
- Temperatura máxima absoluta – 39.6 ºC
- Número de dias com temperatura máxima superior a 25 ºC – 70.4
- Temperatura mínima absoluta – (-4.5 ºC)
- Número de dias com temperatura mínima inferior a 0 ºC – 8.5
- Precipitação média anual – 960 mm
- Número de dias com precipitação inferior a 0.1 mm – 123
- Humidade do ar (H. Relativa às 9h) – 78%

Nebulosidade

- Número de dias com nebulosidade superior a 8/10 – 104.8
- Número de dias com nebulosidade inferior a 2/10 – 119.1

Vento

- Maior frequência – Este
- Maior velocidade média – Este
- Menor frequência – Norte e Noroeste
- Menor velocidade média – Norte
- Número de dias com velocidade superior a 36 Km/h (10 m/s) – 5.4
- Número de dias com velocidade superior a 55 Km/h (15.28 m/s) – 1
- Número de dias com nevoeiro – 29.2
- Número de dias com orvalho – 5.7
- Número de dias granizo ou saraiva – 0.7

5.2 – Recursos Energéticos do Local

No caso em estudo, o recurso renovável disponível considerado, é a energia eólica. A curva do vento ao longo do ano, é obtida através do programa HOMER Pro a partir do fornecimento dos seguintes dados:

- Velocidade média mensal do vento;
- Factor de Weibull mensal;
- Factor de autocorrelação;
- Hora de pico;
- Altura do anemómetro;
- Altitude do local;
- Extensão longitudinal da superfície rugosa.

Com base num estudo genérico sobre a variação da velocidade do vento, foi construído um histograma da variação média mensal do vento, com base no facto de se saber que, no local, a velocidade média anual do vento ronda os 7 a 8 m/s. Este estudo encontra-se em ***anexo(I)***, podendo ser visto também na ***Secção 6.4***

5.3 – Descrição dos Aglomerados Habitacionais e Turísticos

As duas aldeias, Silveira de Cima e Silveira de Baixo, destinadas a turismo de habitação, separadas, entre si, em cerca de 2000 metros irão ser constituídas por:

Silveira de Cima:

- 15 Unidades de habitação com a área total de 376.6 m^2;
- 1 Unidade de serviço com a área de 20 m^2;
- 1 Parque automóvel com a área de 150 m^2.

Silveira de Baixo:

- 11 Unidades de habitação com a área total de 279.9 m^2;
- 28 Unidades de habitação com a área total de 904.8 m^2;
- 2 Unidades de habitação – administração com a área total de 47.6 m^2;
- 3 Unidades de habitação – serviço com a área total de 73.8 m^2;
- 2 Unidades de serviço com a área total de 40 m^2;
- 3 Parques para automóveis com área de 150 m^2 cada;

Entre as duas Aldeias:

Capela

- 1 Capela com a área de 50 m^2;
- Equipamento polivalente com a área de 30 m^2;
- 2 Sanitários com a área total de 20 m^2;
- Parque automóvel com a área de 250 m^2;

Recepção

- Átrio com a área de 60 m^2;
- Recepção com a área de 10 m^2;
- Bengaleiro com a área de 10 m^2;
- Depósito de bagagens com a área de 30 m^2;
- 2 Sanitários com a área total de 30 m^2;
- Parque automóvel com a área de 50 m^2.

Serviço

- Átrio com a área de 20 m^2;
- Recepção com a área de 5 m^2;
- Vestiário com a área de 40 m^2;

- 2 Escritórios com a área total de 40 m^2;
- Bar – Serviço com a área de 20 m^2;
- 2 Sanitários com a área total de 20 m^2;
- Escritório com sanitário com a área total de 25 m^2;
- Sala de Reuniões com a área de 25 m^2;
- Lavandaria com a área de 80 m^2;
- Infra-Estruturas com a área de 40 m^2.

Restauração

- Átrio com a área de 40 m^2;
- Recepção e Bengaleiro com a área total de 20 m^2;
- 2 Sanitários com a área total de 40 m^2;
- Sala de almoços/jantares com a área de 200 m^2;
- Sala de estar, sala de chá e sala de jogos com a área total de 100 m^2;

Restauração – Serviço

- Átrio e serviço com a área total de 30 m^2;
- Sanitários – Serviço, vestiários e sala de estar com a área total de 50 m^2;
- Armazém com a área de 40 m^2;
- Câmara frigorífica com a área de 30 m^2;
- Cozinha com a área de 100 m^2;
- Garrafeira a área de 30 m^2;
- Recolha e separação de lixo com a área de 30 m^2.

Piscina

- Átrio – Ar livre com a área de 40 m^2;
- Área de lazer com 300 m^2;
- Tanque de água com a área de 250 m^2;

- 2 Sanitários com vestiários e chuveiros com a área total de 40 m^2;
- Casa de máquinas com a área de 100 m^2;
- Arrumos com a área de 20 m^2.

Congressos – Átrio/Distribuição

- Átrio com a área de 90 m^2;
- Bengaleiro com a área de 10 m^2;
- Bar com a área de 90 m^2;
- Bar – Serviço e armazém com a área total de 30 m^2;
- 2 Sanitários com a área total de 40 m^2;
- Arrumos com a total de 10 m^2;
- Infra-Estruturas com a área de 60 m^2;
- Parque automóvel com a área de 30 m^2;

Congressos – Auditório

- Átrio – Serviço com a área de 15 m^2;
- Camarim com sanitário e sala de estar com a área total de 30 m^2;
- Sala de projecção e controle com a área de 20 m^2;
- 2 Salas de tradução simultânea com a área total de 10 m^2;
- Auditório com a área de 180 m^2;
- Palco com a área de 60 m^2;

5.4 – Estudo dos Consumos Energéticos

Este estudo consta do ***anexo(II)***, junto a este trabalho, salientando aqui, e desde já, alguns dos aspectos mais importantes:

- O local destina-se a turismo de habitação, o que implica um consumo mais elevado que o normal;
- O aquecimento é feito a gás;
- Pela natureza do empreendimento existem horários a cumprir, resultantes da realização de diversas actividades, como congressos, actividades lúdicas, horários das refeições etc.;
- A sua utilização não vai ser sazonal, mas contínua.

Todos estes aspectos, além de outros, foram tomados em consideração para a obtenção dos diagramas de carga de cada mês.

O consumo anual previsto é de 1653 GWh por ano. O consumo médio anual diário previsto é de 4.5 MWh por dia, com um valor máximo de 302 kW (ponta anual). ***– anexo(II) e Secção 6.3-.***

6 – Utilização do HOMER para a Configuração do Sistema Híbrido

6.1 – Página Inicial do Programa HOMER Pro

Aberto o programa, clicamos no símbolo abrindo, assim, uma nova folha de trabalho. O HOMER mostra-nos a seguinte imagem:

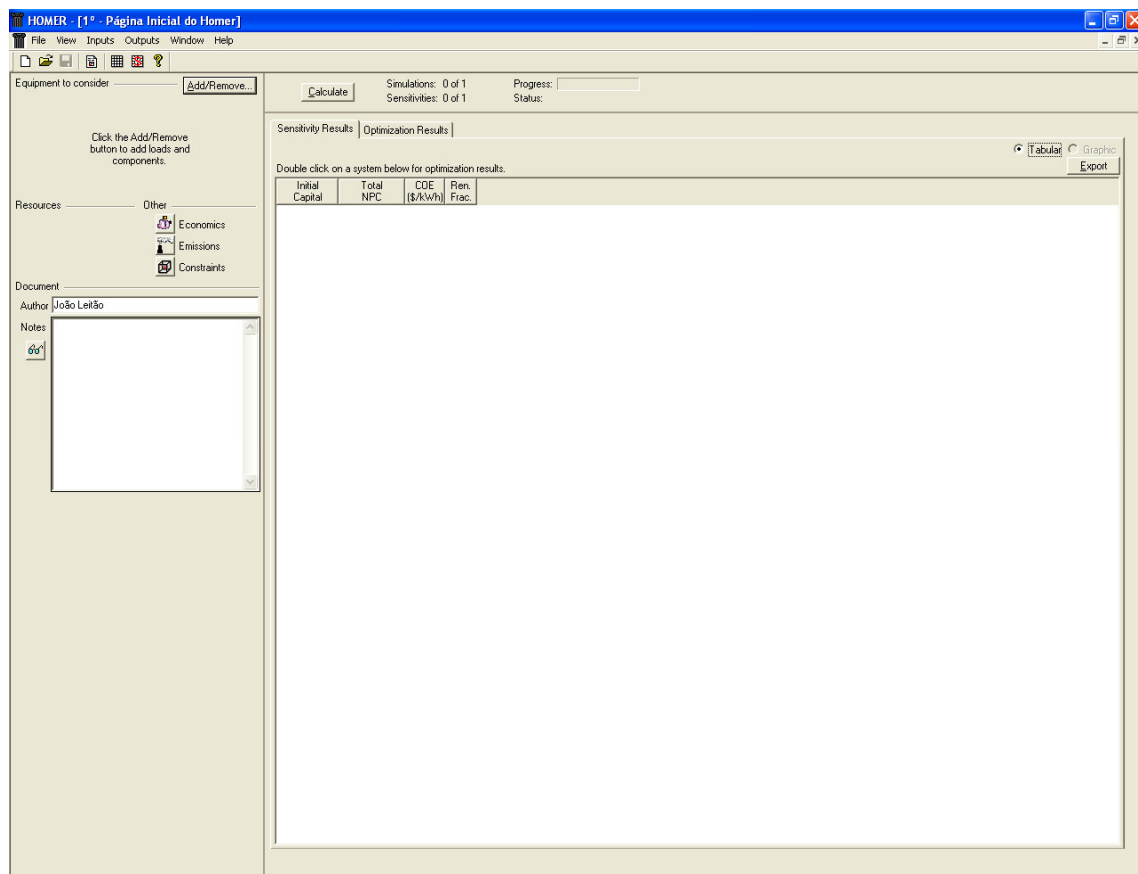
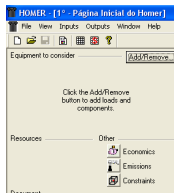



Figura 6.1 – Página inicial do programa

6.2 – Escolha dos Componentes do Sistema

Clicando o botão [Add/Remove...], abrimos a livraria a fim de dispormos dos equipamentos necessários à composição do ***Sistema Híbrido.***

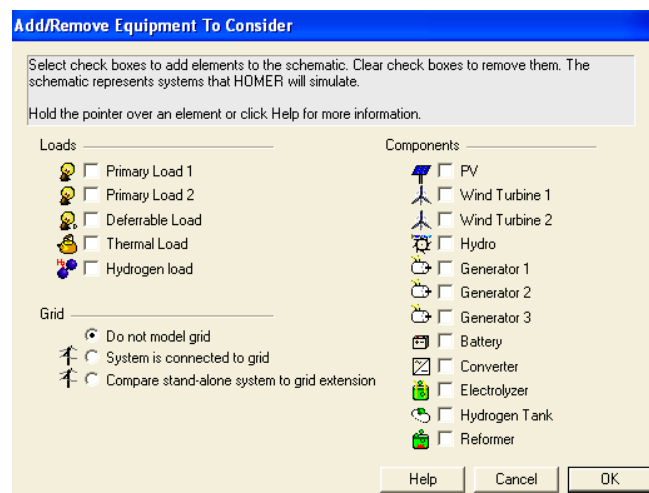



Figura 6.2 – Livraria

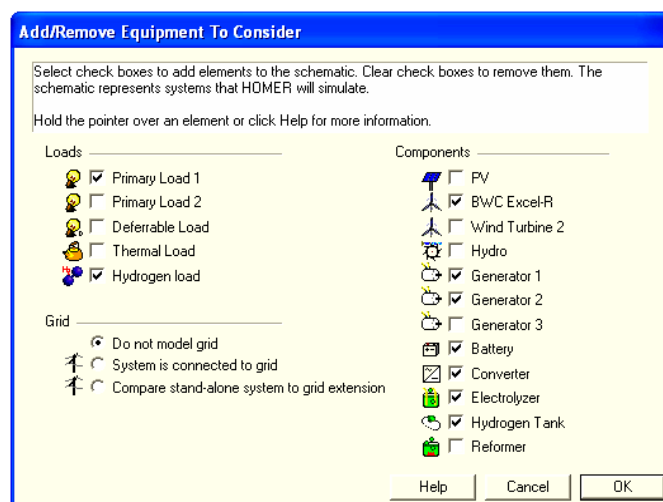



Figura 6.3 – Conjunto dos equipamento escolhidos

Depois de seleccionados os elementos constituintes, tais como:

- Carga;
- Aerogerador;
- Gerador (Diesel);
- Gerador (Célula de Combustível);
- Electrolizador;
- Tanque de Armazenamento de Hidrogénio;
- Conversor/Inversor;
- Banco de Baterias.

Obtemos a configuração seguinte:

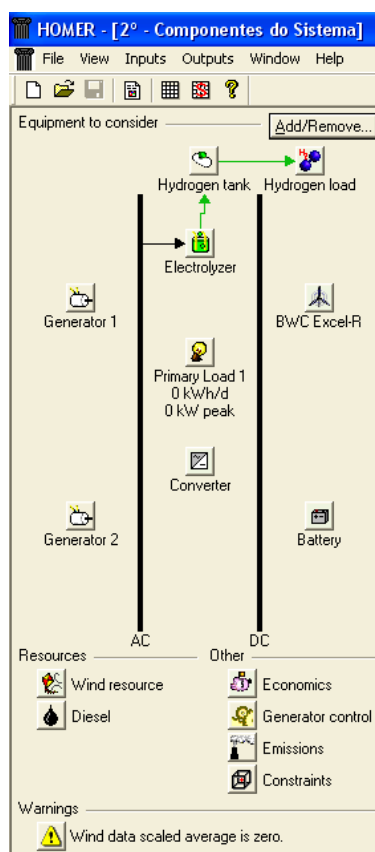



Figura 6.4 – Conjunto dos elementos escolhidos

6.3 – Dados Relativos ao Perfil do Consumo

Clicando o botão Primary Load 1 0 kWh/d 0 kW peak, aparece a janela de entrada de dados sobre o perfil da carga, onde foram introduzidos os diagramas de carga mensais.

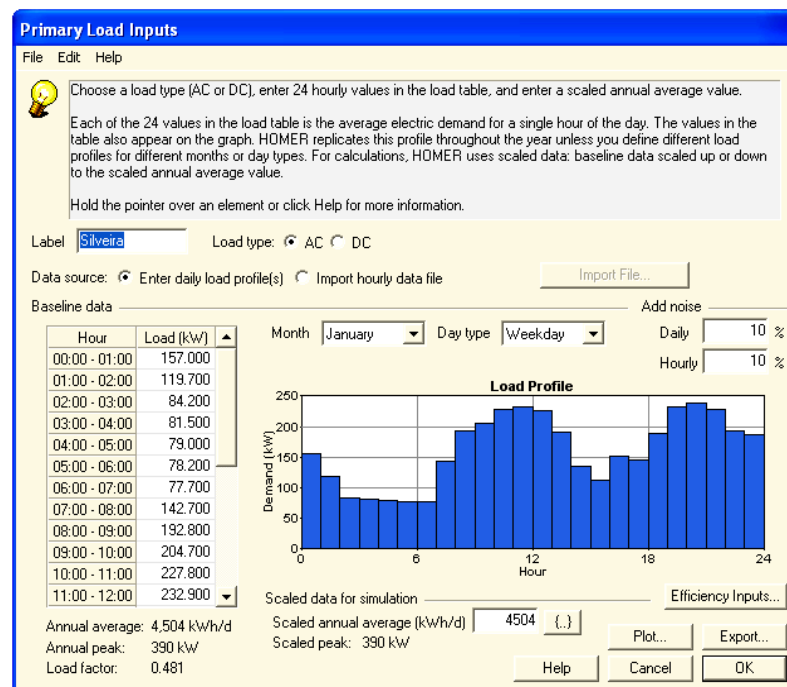



Figura 6.5 – Dados do Perfil do Consumo

Clicando o botão Plot..., da janela de entrada de dados sobre o perfil da carga, temos acesso a várias informações, mais detalhadas, sobre aspectos relativos aos consumos.

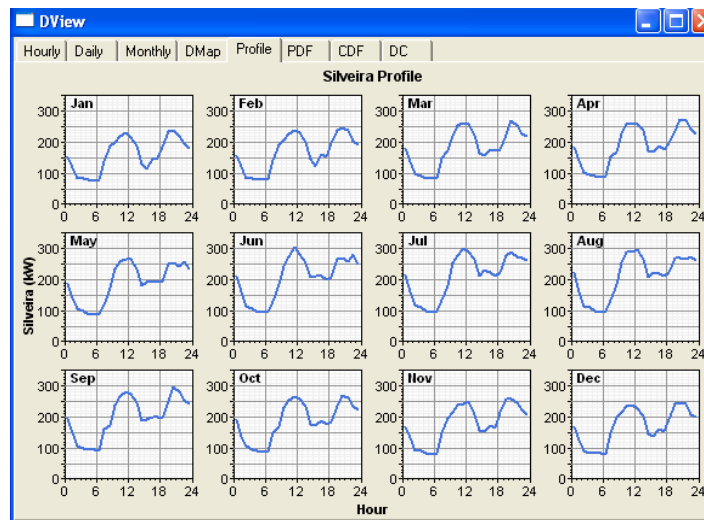



Figura 6.6 – Dados do Perfil do Consumo

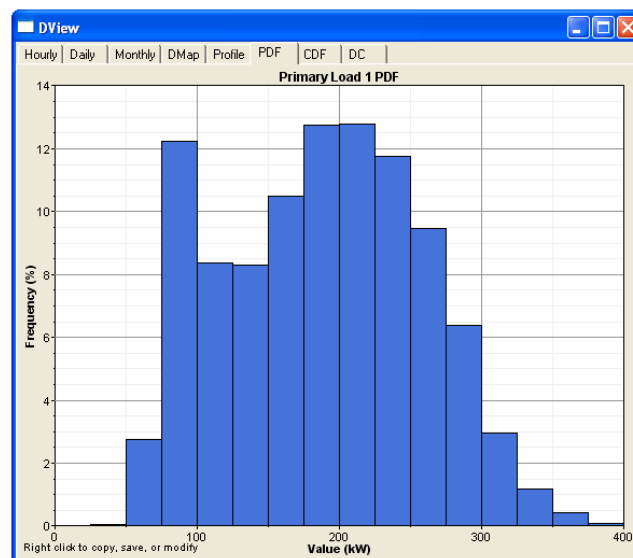



Figura 6.7 – Histograma da Potência Consumida

Como podemos verificar, pela observação da ***figura 6.5***, o consumo médio anual diário vai ser de 4.5 MWh por dia, com um valor máximo de 390 kW (ponta anual). Foi introduzido, no programa, o diagrama de cargas mensal, com ponta média de 302 kW. No entanto, no HOMER aparece uma ponta de 390 kW, devido à modelização de um "ruído branco", neste caso de "Daily – 10%" e " Hourly – 10%" .

6.4 – Dados Relativos aos Recursos Disponíveis (Vento)

Clicando o botão Wind resource, aparece a janela de entrada de dados sobre o recurso disponível (Vento), onde foi introduzido o histograma de velocidade média mensal do vento. Foram introduzidos, também, os dados referidos na ***Secção 5.2***, tais como, o factor Weibull K, factor de autocorrelação, hora de pico, a altitude do local onde se vai instalar o(s) aerogerador(s), a altura do anemómetro, etc. (***figuras 6.8 a 6.11***).

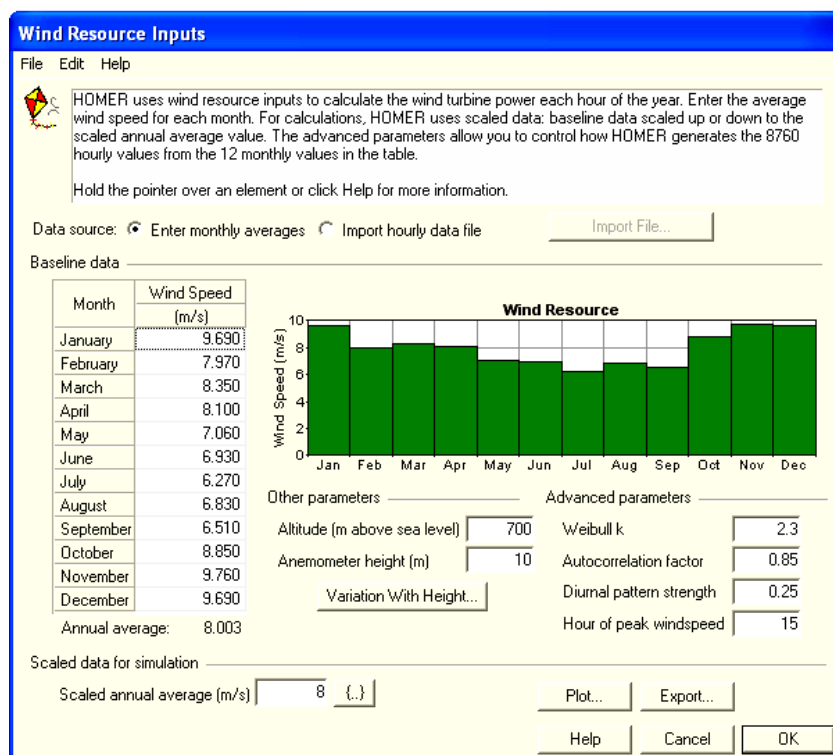



Figura 6.8 – Dados Relativos à Velocidade do Vento – Histograma

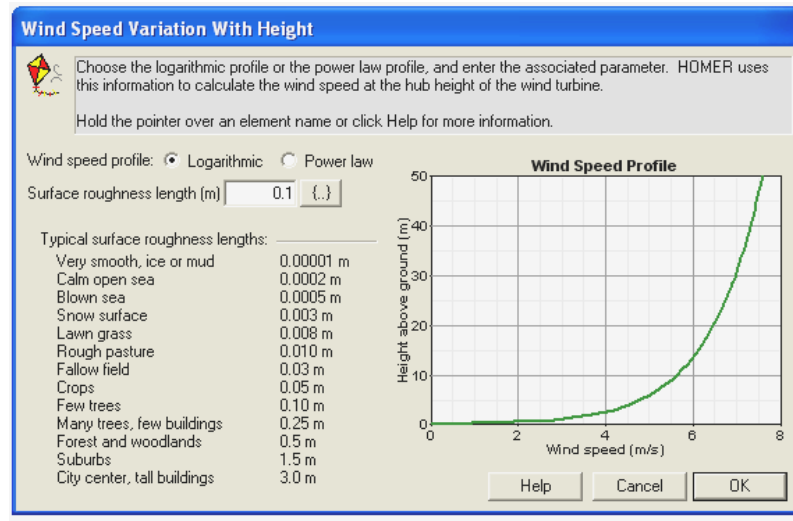



Figura 6.9 – Dados Relativos à Variação do Vento com a Altitude

Clicando o botão, da janela de entrada de dados sobre o recurso disponível (Vento), temos acesso a várias informações, mais detalhadas, sobre aspectos relativos à velocidade do vento.

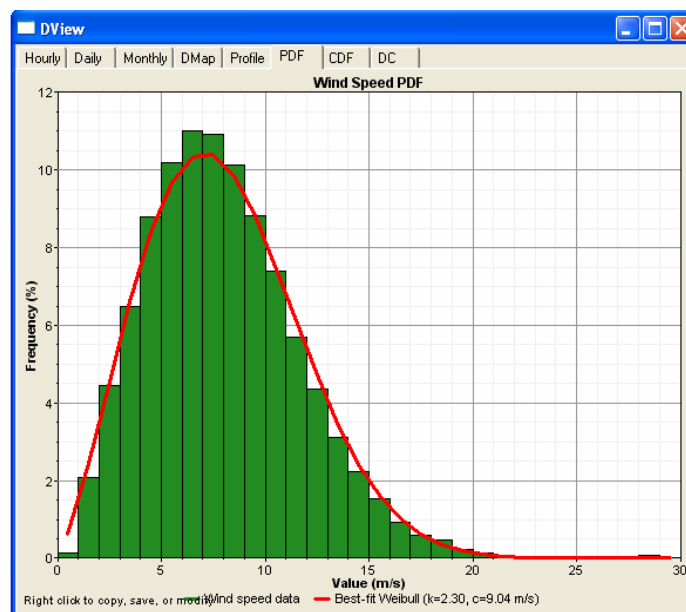



Figura 6.10 – Frequência Relativa de Ocorrência da Velocidade Média do Vento

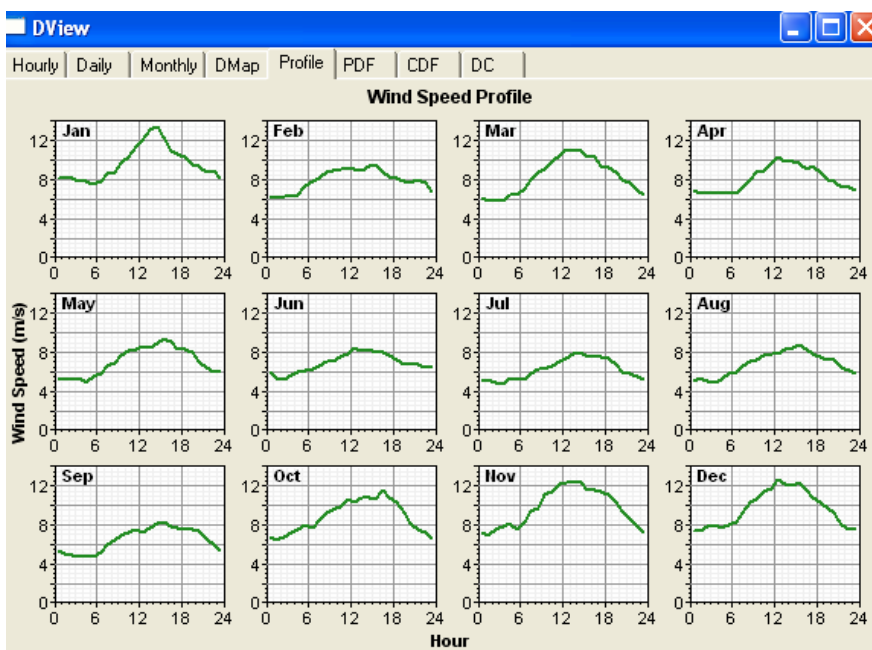



Figura 6.11 – Dados Relativos à Velocidade do Vento

6.5 – Dados Relativos aos Componentes do Sistema

6.5.1 – Aerogerador(s)

Clicando o botão BWC Excel-R, aparece a livraria com aerogeradores de vários tipos. Escolhemos quatro tipos diferentes dos mesmos, para, posteriormente, recorrendo ao programa HOMER, optarmos pelo mais adequado ao fim em vista.

Foram inseridos, também, para cada tipo de aerogerador, os custos de capital (€/unidade), custos de substituição (€/unidade), custos de operação e manutenção (€/Ano/unidade), tempo de vida útil (anos) e a altura acima do solo a que se encontra o rótor ("Hub Height"). (***figuras 6.12 a 6.15***).

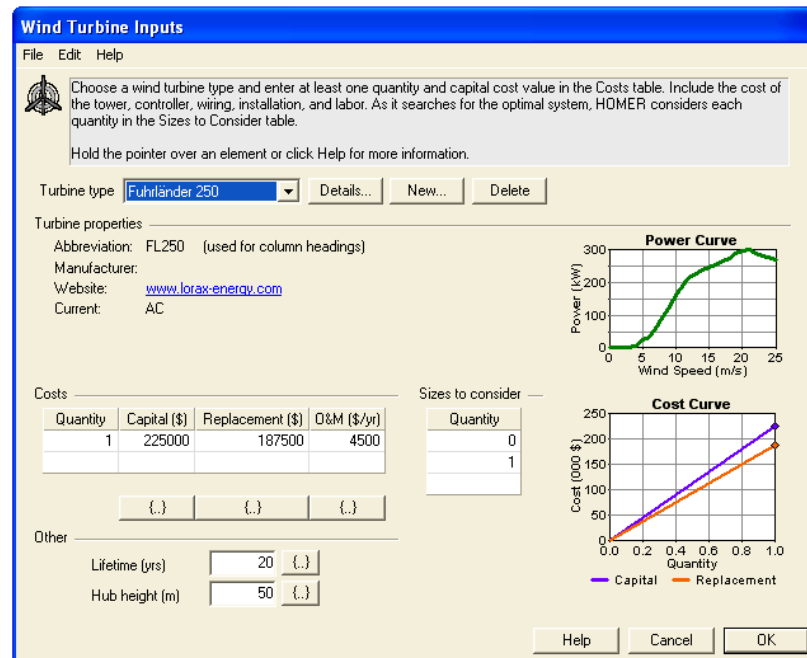



Figura 6.12 – Dados Relativos ao Aerogerador FL 250 kW

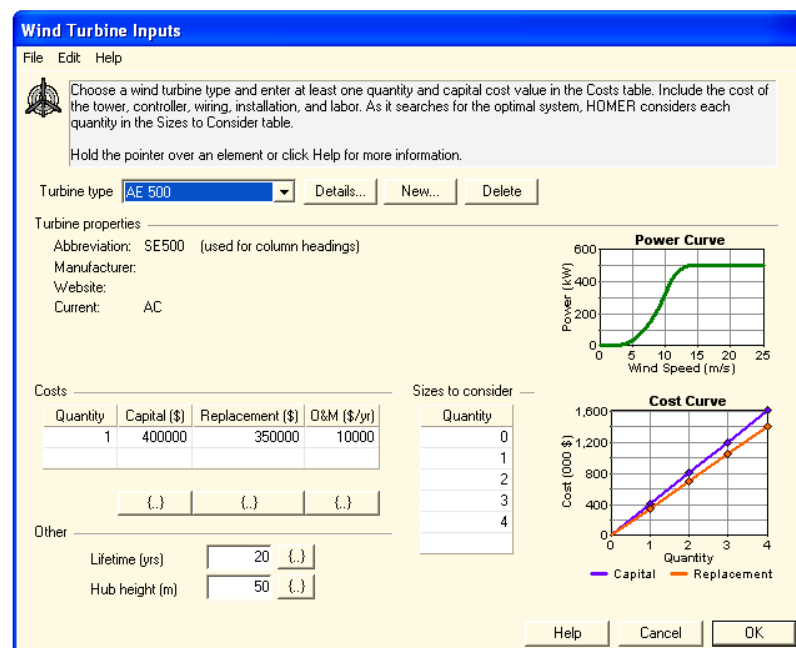



Figura 6.13 – Dados Relativos ao Aerogerador AE 500 kW

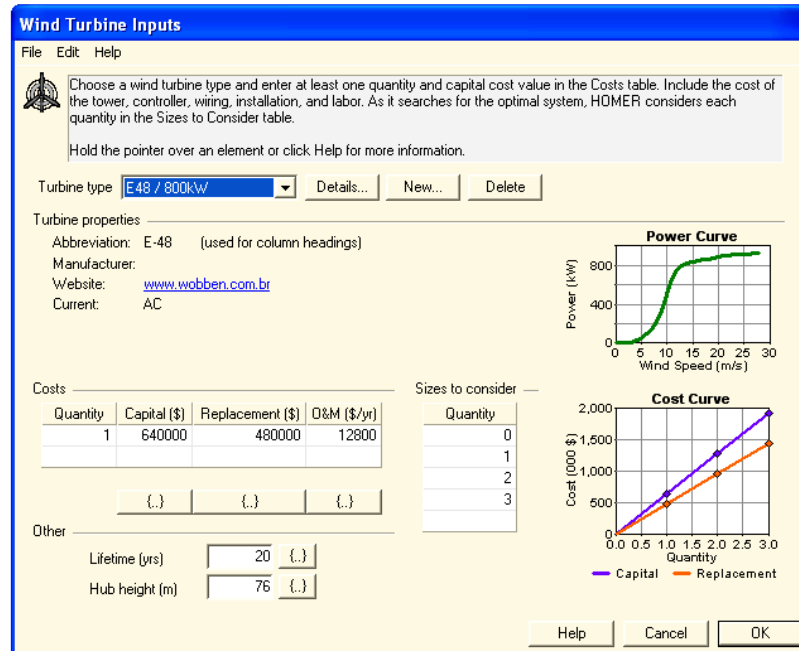



Figura 6.14 – Dados Relativos ao Aerogerador E48 - 800 kW

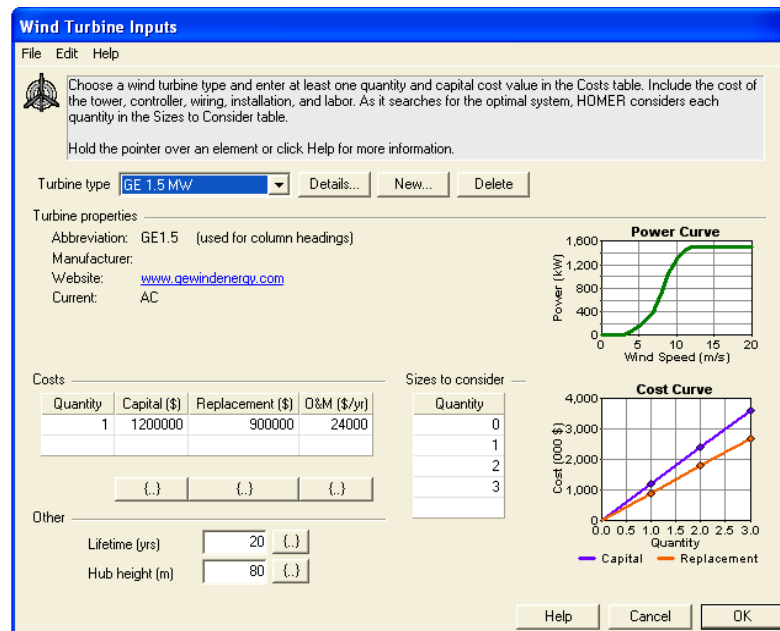
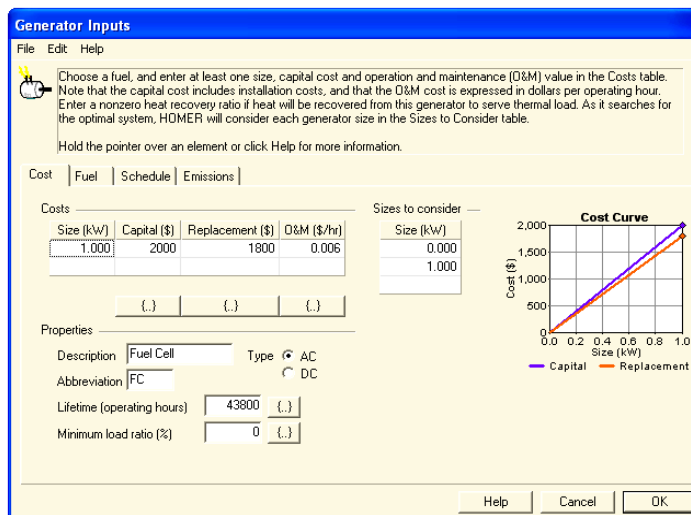



Figura 6.15 – Dados Relativos ao Aerogerador GE 1.5 MW

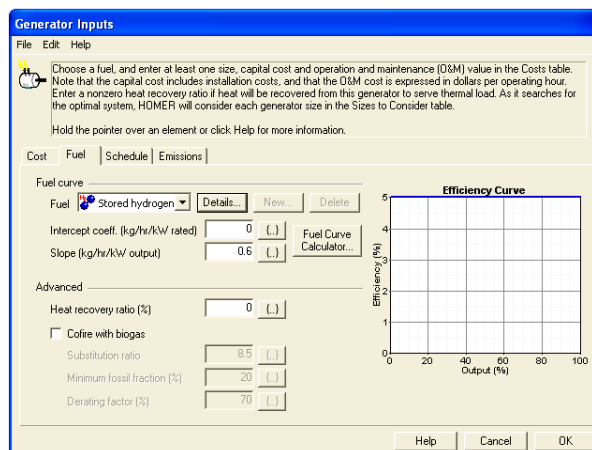
6.5.2 – Célula de Combustível (FC)

Clicando o botão Generator 2, aparece a janela de entrada dos dados inerentes ao gerador. Alterando o combustível, de Diesel para hidrogénio, o gerador passa a funcionar como uma célula de combustível. (***figuras 6.16 a 6.18***).

Figura 6.16 – Dados Relativos à FC – Custos

Foram inseridos custos de capital (€/kW), custos de substituição (€/kW), custos de operação e manutenção (€/hora) e tempo de vida útil (horas).

Figura 6.17 – Dados Relativos à FC – Combustível e Eficiência

Foi escolhido, como combustível, o hidrogénio e inseridos os dados atinentes ao cálculo da curva de eficiência da célula de combustível.

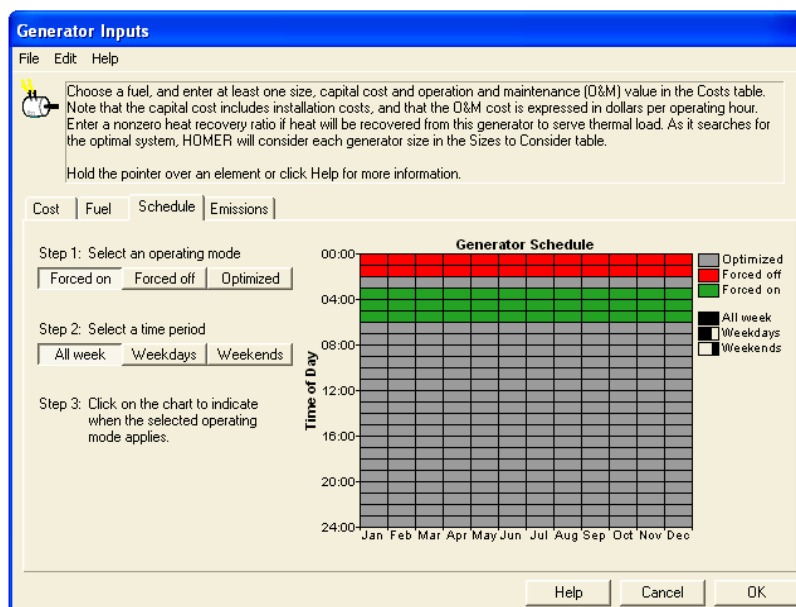



Figura 6.18 – Dados Relativos à FC – Modo de Funcionamento

O HOMER permite, também, caso seja necessário, impor um modo de funcionamento. Ou seja, é possível forçar a célula de combustível a operar, ou não, em determinadas horas do dia. Por omissão, o programa escolhe o período de tempo mais adequado a esse funcionamento.

6.5.3 – Gerador(s) a Diesel

Clicando o botão Generator 1, aparece a janela de entrada dos dados inerentes ao gerador. Por omissão, o programa considera que o combustível a ser utilizado é o Diesel. (***figuras 6.19 a 6.21)***

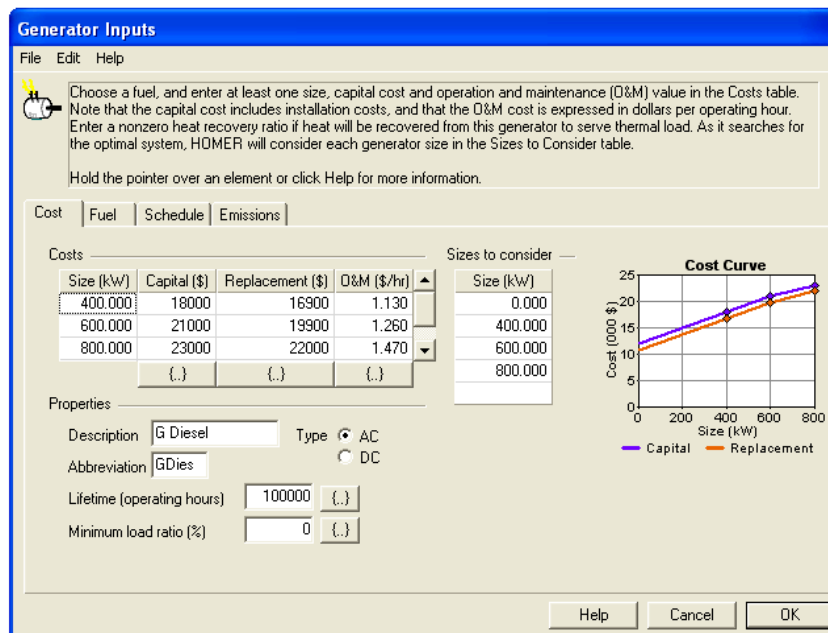



Figura 6.19 – Dados Relativos aos Geradores a Diesel

Foram inseridos custos de capital (€), custos de substituição (€), custos de operação e manutenção (€/hora) e tempo de vida útil (horas).

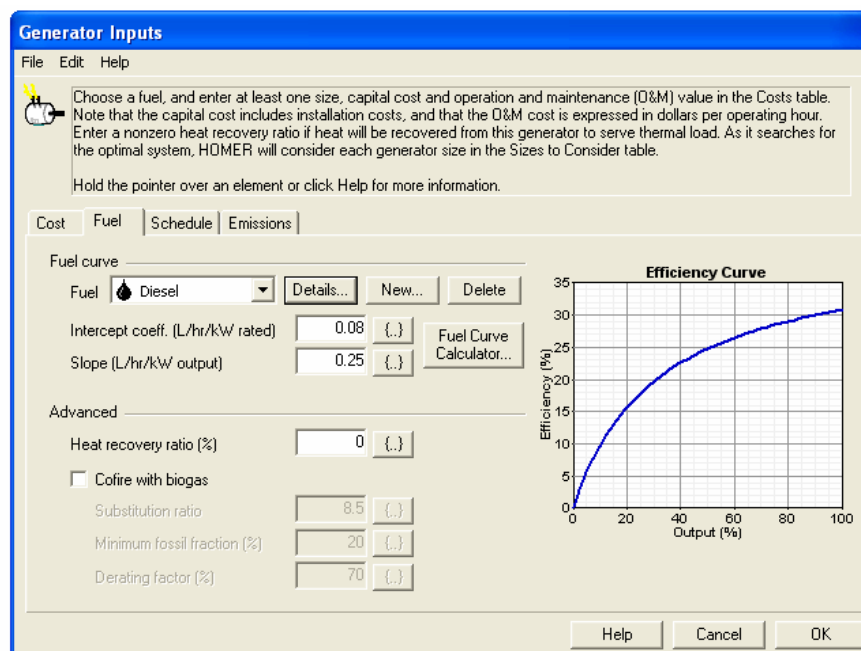



Figura 6.20 – Dados Relativos ao Combustível e Eficiência

Foi escolhido, como combustível, o Diesel e inseridos os dados atinentes ao cálculo da curva de eficiência do gerador.

Clicando o botão , aparece a janela de entrada dos dados inerentes ao preço do Diesel.

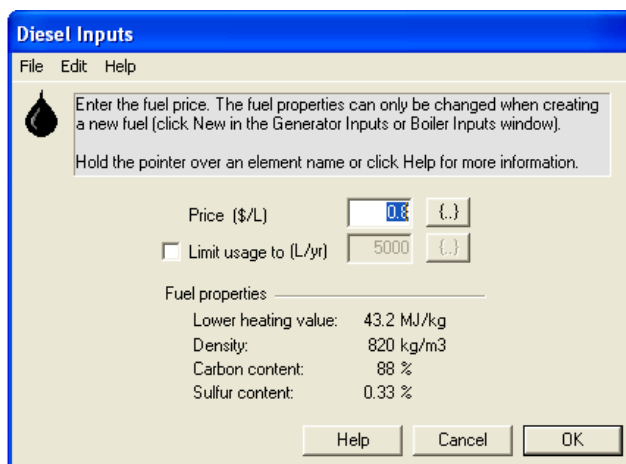
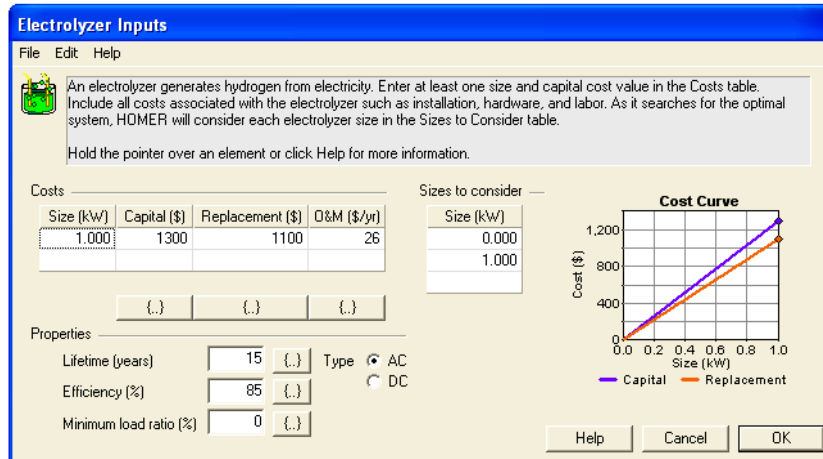



Figura 6.21 – Dados Relativos ao Preço do Diesel

Tal como referido para a célula de combustível, também aqui é possível alterar o modo de funcionamento do gerador. Como ali sucede, o HOMER permite, caso seja necessário, impor um modo de funcionamento. Ou seja, é possível, também, forçar o gerador a operar, ou não, em determinadas horas do dia. Por omissão, o programa escolhe o período de tempo mais adequado a esse funcionamento.

6.5.4 – Electrolizador

Clicando o botão , aparece a janela de entrada dos dados inerentes ao electrolizador.

Figura 6.22 – Dados Relativos ao Electrolizador

Foram inseridos custos de capital (€/kW), custos de substituição (€/kW), custos de operação e manutenção (€/ano), tempo de vida útil (anos) e eficiência (%).

6.5.5 – Tanque de Armazenamento do Hidrogénio

Clicando o botão Hydrogen tank, aparece a janela de entrada dos dados inerentes ao tanque de armazenamento do hidrogénio.

Figura 6.23 – Dados Relativos ao Tanque de Armazenamento de Hidrogénio

Foram inseridos custos de capital (€/kg), custos de substituição (€/kg), custos de operação e manutenção (€/ano) e tempo de vida útil (anos).

6.5.6 – Conversor / Inversor

Clicando o botão Converter, aparece a janela de entrada dos dados inerentes ao conversor / inversor.

Figura 6.24 – Dados Relativos ao Conversor/Inversor

Foram inseridos custos de capital (€/kW), custos de substituição (€/kW), custos de operação e manutenção (€/ano), tempo de vida útil (anos), capacidade de inversão e eficiência do rectificador e inversor (%).

6.5.7 – Banco de Baterias

Clicando o botão Battery, aparece a janela de entrada dos dados inerentes ao banco de baterias.

Figura 6.25 – Dados Relativos ao Banco de Baterias

Foram inseridos custos de capital (€/unidade), custos de substituição (€/unidade), custos de operação e manutenção (€/ano).

Todos estes custos foram calculados com base, em pesquisas feitas em vários relatórios técnicos.

7 – Modelo de Optimização – HOMER

Depois da introdução de todos os dados atrás mencionados, obtemos a configuração seguinte:

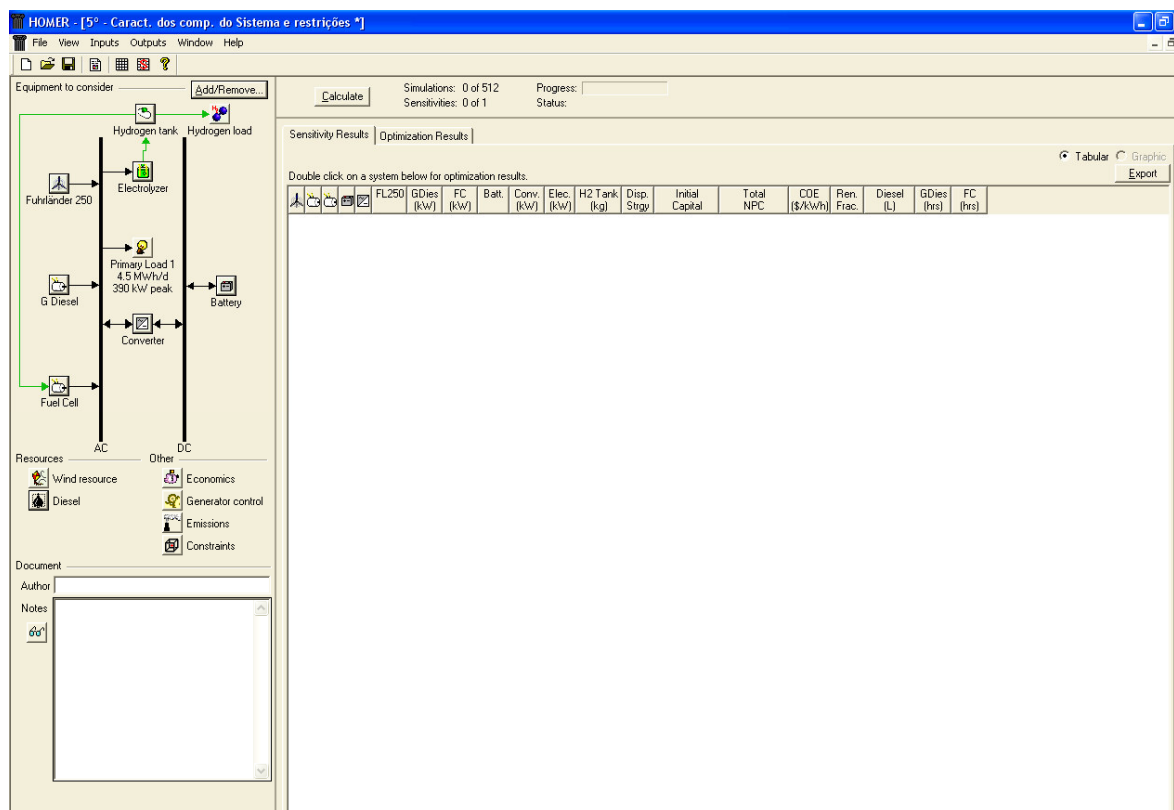



Figura 7.1 – Composição do Sistema Híbrido

Na figura seguinte ***- 7.2 -*** , está representada, em pormenor, a composição do sistema híbrido.

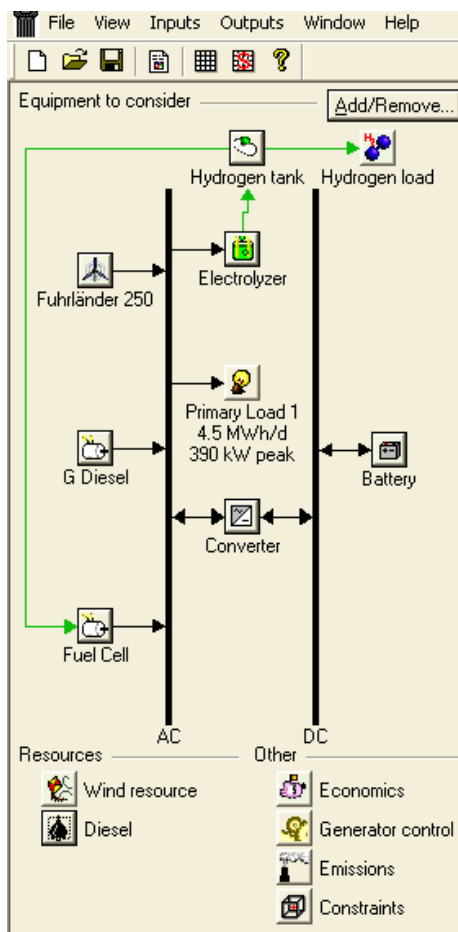



Figura 7.2 – Pormenor da Composição do Sistema Híbrido

7. 1 – Definição do Espaço de Busca para Optimização

Clicando o botão , aparece a janela de entrada dos dados inerentes ao espaço de busca. É nesta tabela, que se inserem os possíveis valores dos componentes do sistema híbrido, tais como, a potência da(s) célula(s) de combustível, do(s) gerador(s) a Diesel, do conversor/inversor e do electrolizador e, ainda, o número de aerogeradores e baterias e as várias capacidades do tanque de armazenamento de hidrogénio.

	FL250 (Quantity)	GDies (kW)	FC (kW)	Batteries (Quantity)	Converter (kW)	Electrolyzer (kW)	H2 Tank (kg)
1	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00
2	1	400.00	400.00	100	100.00	50.00	50.00
3	2			200	200.00	100.00	100.00
4	3			300	300.00	200.00	150.00
5				600	400.00	300.00	200.00
6				800		400.00	300.00
7				1,000		500.00	400.00
8				1,500			500.00
9				2,000			1,000.00
10							

Figura 7.3 – Tabela dos possíveis valores dos componentes

Todas as configurações possíveis com os componentes da tabela da ***figura 7.3*** são testadas e, quando tecnicamente viáveis, são avaliados os seus custos, de modo a obter a configuração óptima do sistema híbrido.

Figura 7.4 – Tabela de Lançamento dos Resultados da Optimização

Clicando o botão Calculate, damos início às simulações.

7.2 – Resultados da Optimização

7.2.1 – Sistema Híbrido Diesel / Eólica

7.2.1.1 – Aerogerador de 250 kW e Gerador a Diesel de 400 kW

Constituído por aerogeradores com uma potência nominal de 250 KW, um gerador a Diesel com a potência de 400 kW e um banco de baterias.

Para o consumo de 4.5 MW por dia, admitindo 0% de energia reprimida e custo do combustível 0.8 €/litro.

FL250	GDies (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Disp. Strgy	Initial Capital	Total NPC	COE ($/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	GDies (hrs)
4	400	2200	350	LF	$ 1,309,000	$ 2,487,641	0.118	0.99	25,013	426
5	400			CC	$ 1,143,000	$ 3,616,731	0.172	0.95	195,554	3,998
	400			CC	$ 18,000	$ 7,224,322	0.344	0.00	691,310	8,760
	400	10	20	LF	$ 25,300	$ 7,236,905	0.344	0.00	691,307	8,760

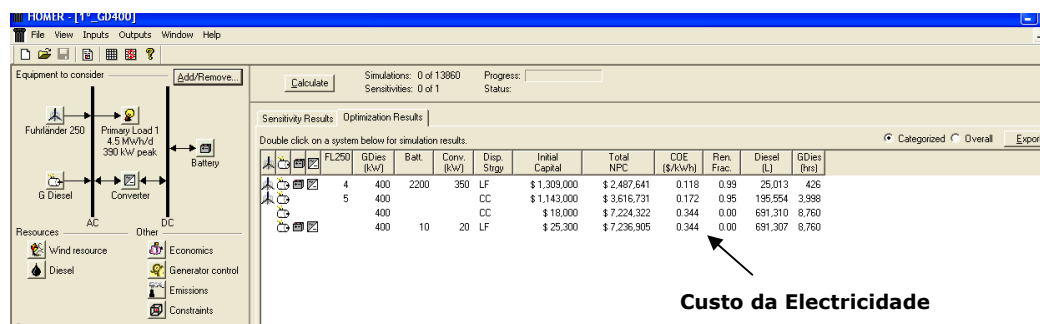



Figura 7.5 – Custo das Possíveis Configurações

A ***figura 7.5*** indica que a melhor configuração é o sistema eólico / Diesel com baterias, e em seguida o sistema eólico / Diesel sem baterias. A pior configuração é o sistema Diesel com baterias. Observa-se que o custo de geração da electricidade estimado para a melhor alternativa é de 118 €/MWh.

7.2.1.2 – Aerogerador de 500 kW e Gerador a Diesel de 400 kW

Constituído por aerogeradores com uma potência nominal de 500 KW, um gerador a Diesel com a potência de 400 kW e um banco de baterias.

Para o consumo de 4.5 MW por dia, admitindo 0% de energia reprimida e custo do combustível 0.8 €/litro.

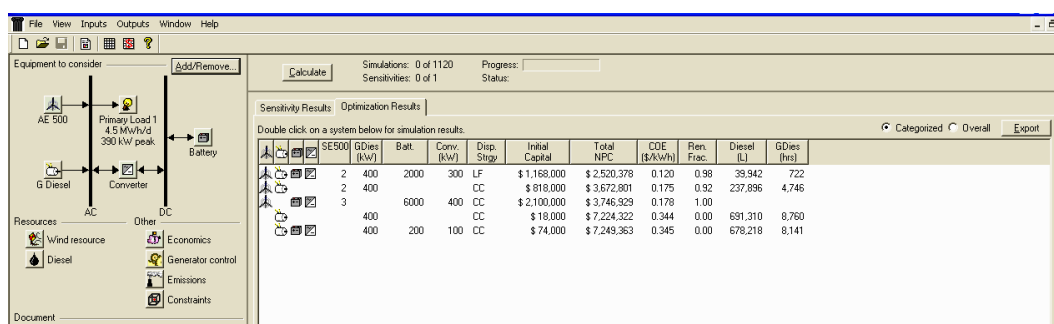



Figura 7.6 – Custo das Possíveis Configurações

A ***figura 7.6*** indica que a melhor configuração é o sistema eólico / Diesel com baterias, e em seguida o sistema eólico / Diesel sem baterias. A pior configuração é o sistema Diesel com baterias. Observa-se que o custo de geração da electricidade estimado para a melhor alternativa é de 120 €/MWh.

7.2.2 – Sistema Híbrido Diesel / Eólica + Célula de Combustível

Constituído por aerogeradores com uma potência nominal de 1500 KW, um gerador a Diesel com a potência de 1500 kW, célula de combustível de 600 kW e um banco de baterias.

Para o consumo de 4.5 MW por dia, admitindo 0% de energia reprimida e custo do combustível 0.8 €/litro.

GE1.5	GDies (kW)	FC (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Elec. (kW)	H2 Tank (kg)	Disp. Strgy	Initial Capital	Total NPC	COE ($/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	GDies (hrs)	FC (hrs)
1	1500		2000	400			LF	$ 1,610,000	$ 2,871,034	0.137	1.00	32,365	218	
1	1500		2000	400	100		LF	$ 1,740,000	$ 3,071,627	0.146	1.00	32,365	218	
1			6000	400			CC	$ 2,100,000	$ 3,649,670	0.174	1.00			
1			6000	400	100		CC	$ 2,230,000	$ 3,850,262	0.183	1.00			
1	1500	600	2000	400	100		LF	$ 2,940,000	$ 4,026,280	0.192	1.00	32,365	218	0
1		600	4000	500	100	400	CC	$ 3,520,000	$ 4,621,828	0.220	1.00			31
1	1500						CC	$ 1,230,000	$ 6,941,878	0.330	0.96	507,689	3,715	
1	1500				100		CC	$ 1,360,000	$ 7,142,471	0.340	0.96	507,689	3,715	
1	1500	600			300	600	CC	$ 3,300,000	$ 7,532,049	0.358	0.97	337,146	2,396	1,319
	1500		2000	300			CC	$ 380,000	$ 12,221,462	0.582	0.00	1,005,132	4,129	
	1500		2000	300	100		CC	$ 510,000	$ 12,422,054	0.591	0.00	1,005,132	4,129	
	1500	600	2000	300	100		CC	$ 1,710,000	$ 13,376,707	0.637	0.00	1,005,132	4,129	0
	1500						CC	$ 30,000	$ 15,213,239	0.724	0.00	1,462,191	8,760	
	1500				100		CC	$ 160,000	$ 15,413,833	0.733	0.00	1,462,191	8,760	
	1500	600			100		CC	$ 1,360,000	$ 16,368,486	0.779	0.00	1,462,191	8,760	0

Figura 7.7 – Custo das Possíveis Configurações

A ***figura 7.7*** indica que a melhor configuração é o sistema eólico / Diesel com baterias. A pior configuração é o sistema Diesel com célula de combustível. Observa-se que o custo de geração da electricidade estimado para a melhor alternativa é de 137 €/MWh e o para a pior 779 €/MWh.

Foram testadas inúmeras combinações de sistemas híbridos, com diversos componentes de diferentes características.

Apresentamos apenas três dessas combinações, suficientes para retirarmos todas as necessárias conclusões.

8 – Análise de Sensibilidades e Resultados

A análise económica, realiza-se a partir dos gráficos do sistema óptimo obtido. Estes gráficos indicam qual é o sistema mais barato de entre todos os possíveis.

Temos de ter em atenção que ao longo do tempo os valores inseridos – custos de capital, custos de substituição, custos de operação e manutenção, custo do Diesel – sofrem várias alterações devido a factores exteriores ao sistema dimensionado.

O HOMER permite especificar valores discretos para cada uma das variáveis. Desta forma, podemos restringir o espaço de pesquisa de soluções, fazendo uma análise de sensibilidade restrita, aos aspectos que nos interessam.

8.1 – Sistema Híbrido Diesel / Eólica + Célula de Combustível

Tendo sido considerada uma velocidade média do vento de 8 m/s, vamos fazê-la variar entre os 5 e os 9 m/s.

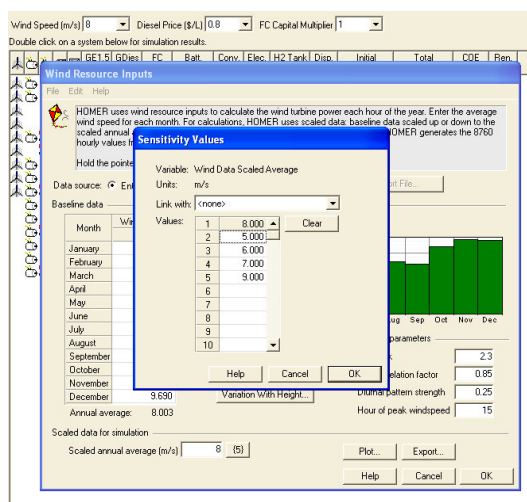



Figura 8.1 – Variação da Velocidade Média do Vento

Tendo sido considerado o valor de 0.8 €/L para o custo do Diesel, vamos fazê-lo variar entre os 0.6 e os 1.4 € / L.

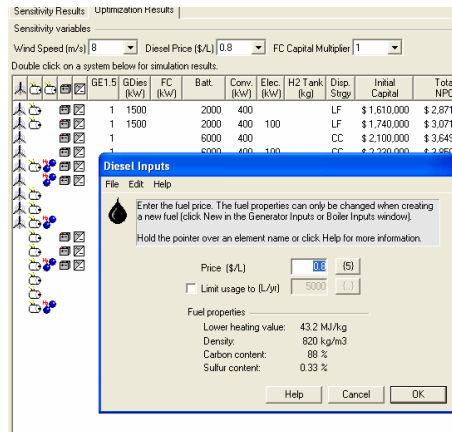



Figura 8.2 – Variação do Custo do Diesel/Litro

Tendo sido considerado o valor de 2000 € / kW para a célula de combustível, vamos aplicar um factor multiplicativo, que irá variar entre os 0 e 100 %.

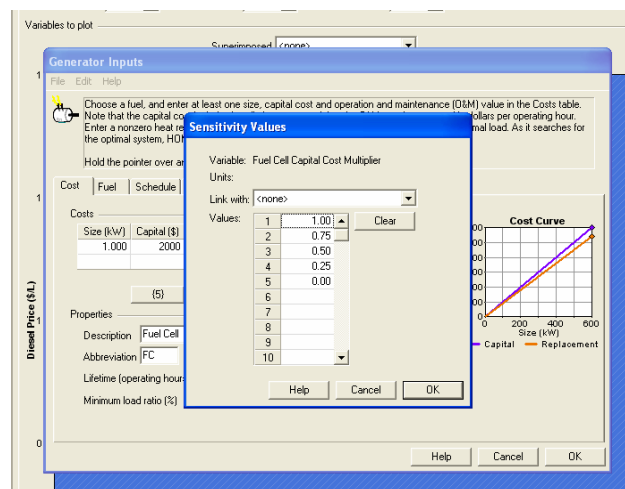



Figura 8.3 – Variação do Custo da Célula de Combustível

Estes valores também foram aplicados ao electrolizador e ao tanque de armazenamento de hidrogénio.

Depois de feita nova simulação, obtemos o seguinte gráfico

Wind Speed (m/s) x-axis Diesel Price ($/L) 1.2 FC Capital Multiplier y-axis

Variables to plot

Superimposed Levelized Cost of Energy

New Window...

Optimal System Type

System Types: Wind/GDies/Batt; Wind/GDies/FC/Electrolyzer/Batt

Superimposed: Levelized COE ($/kWh)

Fixed: Diesel Price = $1.2/L

FC Capital Multiplier \ Wind Speed (m/s)	5	6	7	8	9
1.0	0.335	0.218	0.167	0.141	0.127
0.75	0.335	0.218	0.167	0.141	0.127
0.5	0.335	0.218	0.167	0.141	0.127
0.25	0.335	0.218	0.167	0.141	0.127
0.0	0.333	0.218	0.166	0.141	0.127

Right click to copy, save, or modify

Interpolated Values

Wind Speed: 5.14 m/s

FC Capital Multiplier: 0.01500

System type	Total net present cost
Wind/GDies/FC/Electrolyzer/Batt	$ 6,691,189
Wind/GDies/Batt	$ 6,695,878
Wind/GDies/Electrolyzer/Batt	$ 6,731,625
Wind/GDies/FC/Electrolyzer	$ 15,477,845
GDies/Battery	$ 16,543,622
GDies/Electrolyzer/Batt	$ 16,579,369
GDies/FC/Electrolyzer/Batt	$ 16,593,689
Wind/GDies	$ 16,997,782
Wind/GDies/Electrolyzer	$ 17,033,528
GDies	$ 22,689,922

Close

Interpolated Values

Wind Speed: 6.98 m/s

FC Capital Multiplier: 0.00500

System type	Total net present cost
Wind/GDies/FC/Electrolyzer/Batt	$ 3,526,070
Wind/GDies/Batt	$ 3,531,784
Wind/GDies/Electrolyzer/Batt	$ 3,565,858
Wind/GDies/FC/Electrolyzer	$ 8,990,272
Wind/GDies	$ 11,763,025
Wind/GDies/Electrolyzer	$ 11,797,098
GDies/Battery	$ 16,543,623
GDies/Electrolyzer/Batt	$ 16,577,697
GDies/FC/Electrolyzer/Batt	$ 16,582,469
GDies	$ 22,689,922

Close

Figura 8.4 – Gráfico dos melhores sistemas – (Diesel – 1.2€/L)

Podemos verificar que configuração mais adequada é o sistema eólico / Diesel com baterias. O custo de geração da electricidade estimado, ocorre entre 127 e os 335 € / MW.

O sistema eólico / Diesel com baterias e célula de combustível, na prática não tem aplicação, uma vez que só para um factor multiplicativo, aplicado aos componentes relacionados com a célula de combustível, de 0.5% é que seria viável.

8.2 – Sistema Híbrido Diesel / Eólica

Para este sistema, foram introduzidas oscilações no valor do Diesel/litro, velocidade média do vento, e ainda as percentagens de 0; 2 e 5% de energia reprimida.

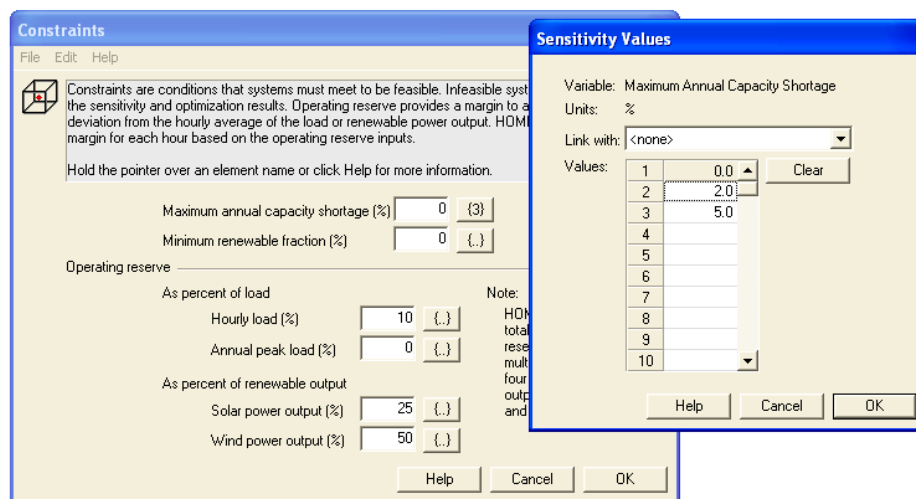



Figura 8.5 – Variação da Energia Reprimida

8.2.1 – Aerogerador de 250 kW e Gerador a Diesel de 400 kW

Depois de feita nova simulação, obtemos o seguinte gráfico

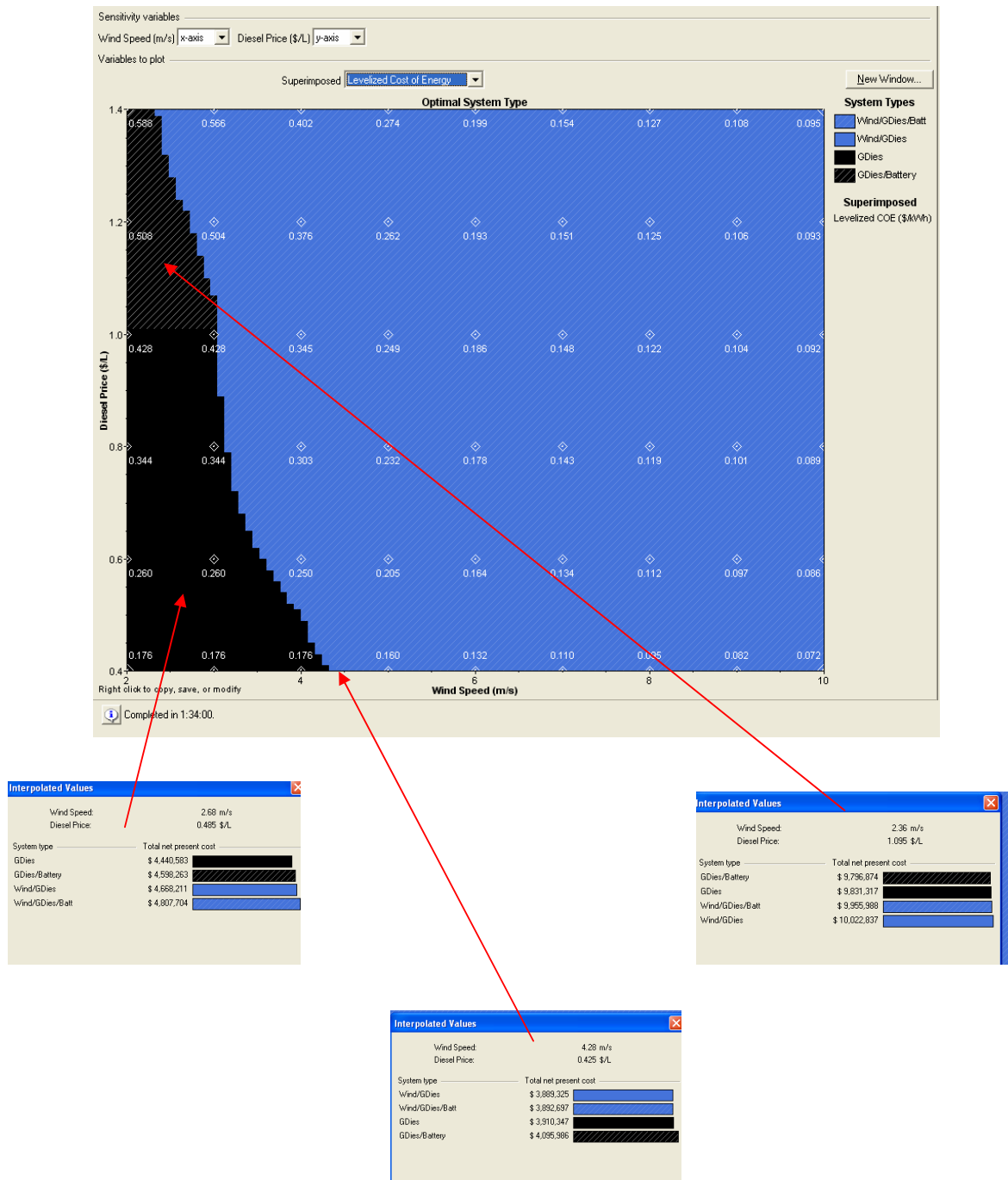



Figura 8.6 – Gráfico dos melhores sistemas

A partir da análise ao gráfico da ***figura 8.6***, verificamos o seguinte:

- Velocidade média do vento reduzida

  Os sistemas Diesel com baterias e Diesel sem baterias são os mais adequados. No entanto face à instabilidade do preço do Diesel é aconselhado o sistema Diesel com baterias.

- Para uma velocidade média do vento superior a 4 m/s o sistema eólico / Diesel com baterias é o melhor.

O gráfico apresenta os valores para o custo de geração da electricidade.

8.2.2 – Aerogerador de 500 kW e Gerador a Diesel de 400 kW

Para este sistema, foram introduzidas oscilações no valor do Diesel/litro, velocidade média do vento, e ainda as percentagens de 0; 2 e 5% de energia reprimida.

0% de Energia Reprimida

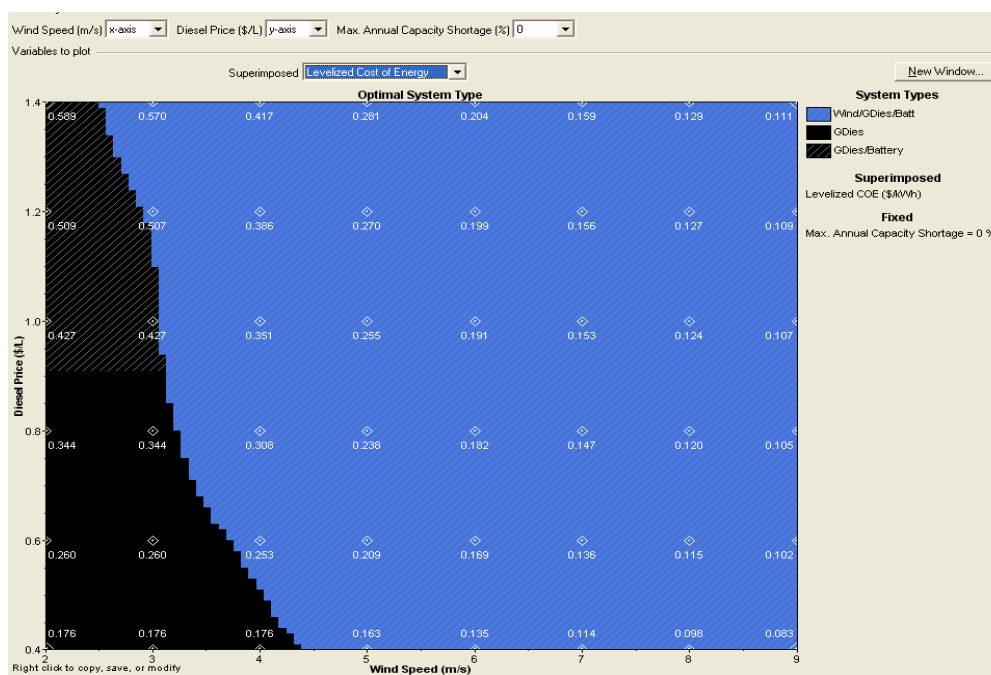



Figura 8.7 – Gráfico dos melhores sistemas – 0% Energia Reprimida

Observando o gráfico da ***figura 8.7*** podemos verificar que a situação é análoga à anteriormente descrita – ***Secção 8.2.1***

2% de Energia Reprimida

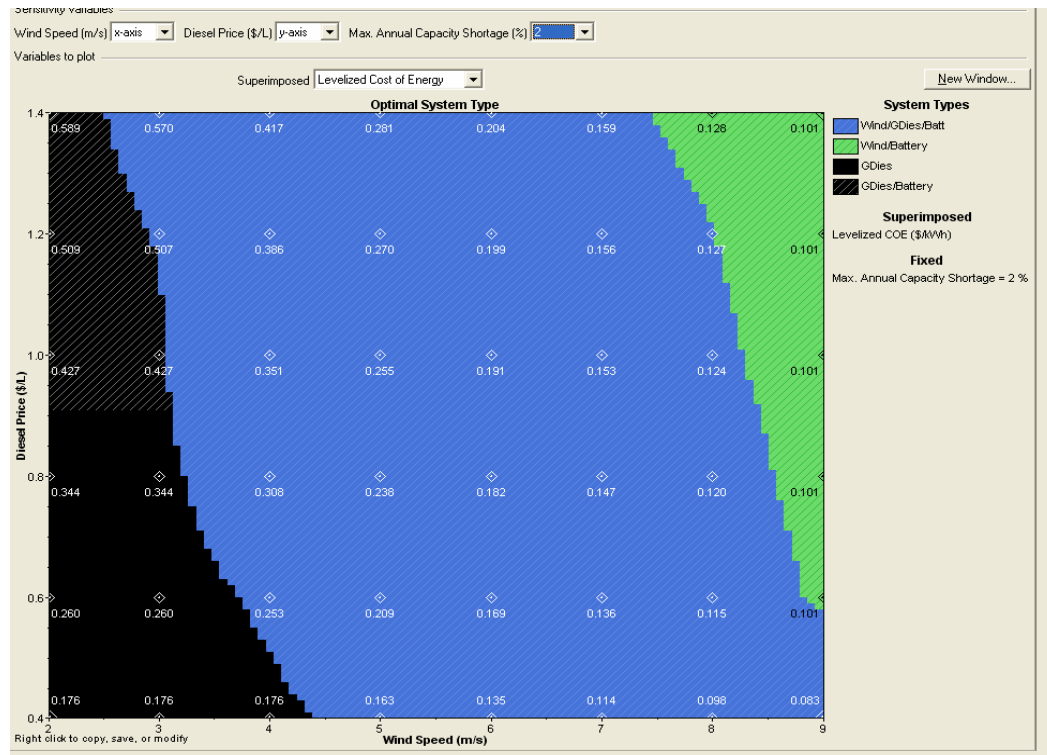



Figura 8.8 – Gráfico dos melhores sistemas – 2% Energia Reprimida

A partir da análise ao gráfico da ***figura 8.8***, verificamos o seguinte:

- Velocidade média do vento reduzida

  Os sistemas Diesel com baterias e Diesel sem baterias são os mais adequados. No entanto, face à instabilidade do preço do Diesel é aconselhado o sistema Diesel com baterias.

- À medida que aumentam a velocidade do vento – superior a 7 m / s – e o custo do Diesel, aumenta também, a possibilidade de escolha do sistema eólico com baterias.

O gráfico apresenta os valores para o custo de geração da electricidade.

5% de Energia Reprimida

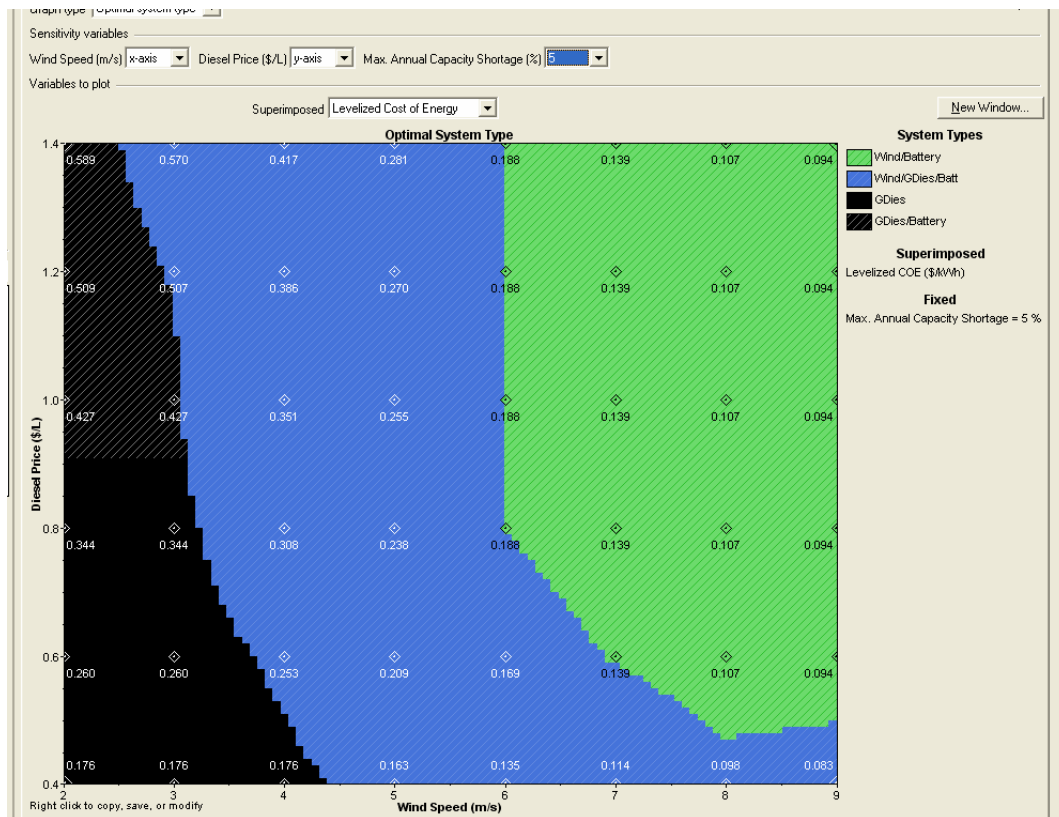



Figura 8.9 – Gráfico dos melhores sistemas – 5% Energia Reprimida

A partir da análise ao gráfico da ***figura 8.9***, verificamos o seguinte:

- Velocidade média do vento reduzida

  Os sistemas Diesel com baterias e Diesel sem baterias são os mais adequados. No entanto, face à instabilidade do preço do Diesel, é aconselhado o sistema Diesel com baterias.

- À medida que aumentam a velocidade do vento – superior a 6 m / s – e o custo do Diesel (mas em menor escala, em relação ao gráfico anterior), aumenta também, a possibilidade de escolha do sistema eólico com baterias.

O gráfico apresenta os valores para o custo de geração da electricidade.

9 – Conclusões

Neste trabalho, foi estudado um sistema de produção, isolado híbrido para a alimentação de uma aldeia turística isolada na serra da Lousã. Neste âmbito foram estudados os consumos, a localização da produção, avaliação do recurso energético endógeno e aspectos de distribuição rural dentro da aldeia.

A maior parte do trabalho, incidiu sobre o estudo do sistema híbrido de produção. Para tal, usou-se o software HOMER, que permite uma análise detalhada de custos, produção energética, dimensionamento dos componentes do sistema, análise de emissões e análise de sensibilidade das várias variáveis de recurso energético e de dimensionamento dos componentes do sistema.

No estudo efectuado na ***Secção 6.3*** – o consumo anual previsto, (no estudo realizado), foi de 1653.2 GWh por ano, o HOMER deu-nos um valor de 1644 GWh por ano, para esse consumo. O consumo médio foi de 4.5 MWh por ano, quer no programa, quer no estudo realizado.

Os resultados obtidos, ao longo deste estudo, demonstraram que a melhor configuração para o sistema híbrido é constituída por: 4 aerogeradores de 250 kW, um gerador a Diesel, de 400 kW e um banco de baterias. Obtivemos, um custo de geração da electricidade de 118 €/MWh.

Concluímos, assim, que o sistema híbrido descrito no parágrafo anterior - ***Eólico / Diesel com baterias*** - é a solução mais económica e viável a ser aplicada ao caso em estudo.

O sistema híbrido com células de combustível não é viável. Devido, ao elevado preço das células de combustível electrolizador e tanque de armazenamento, os sistemas em questão, vão ser preteridos por outros mais baratos.

Com o previsível aumento do preço dos combustíveis e sua extinção a médio prazo, não excluindo o desrespeito pelo ambiente, as células de combustível terão cada vez mais, uma maior aplicação.

10 – Bibliografia

National Renewable Energy Laboratory, HOMER Getting Started Guide, NREL, Maio 2003.

Affonso L. Junior, Guilherme Soares e Leonardo Vieira, Relatório Técnico DPP/PER-771/02, CEPEL, Novembro 2002.

Afonso Vianna, Leonardo Vieira e Marcos Nascimento, Relatório Técnico ADG-A/PER-785/00, CEPEL, Novembro 2000.

Célia Godinho e Júlia Boucinha, Análise do Comportamento dos Clientes Domésticos, EDP, Dezembro 2000.

Affonso L. Junior, Guilherme Soares, Leonardo Vieira e Marcos Nascimento, Relatório Técnico DPP/PER-1165/01, CEPEL, Dezembro 2001.

Energy Technology Indicators, ESTIR, Dezembro 2002.

Referências Electrónicas

http://www.nrel.gov

http://www.edp.pt/home.asp

http://www.troquedeenergia.com

http://www.res-ltd.com

http://www.energiasrenovaveis.com

http://www.inersol.com

http://www.hydro.com/en

http://www.cepel.br

http://www.gepower.com

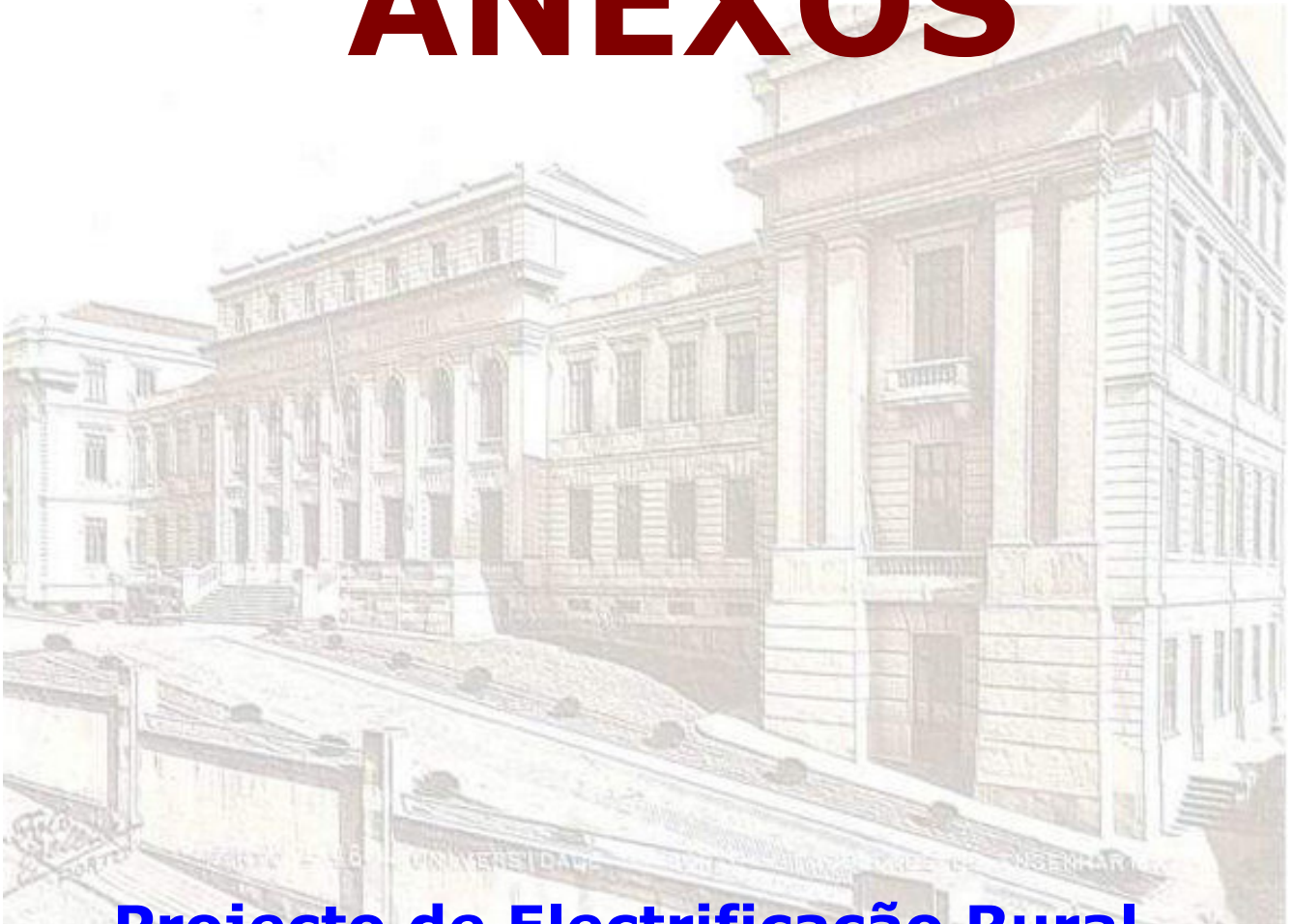
http://www.erl.pt

http://celulasdecombustivel.planetaclix.pt/index.html

http://louzan.planetaclix.pt/serra.htm

ANEXOS

Projecto de Electrificação Rural

com

Produção Renovável Híbrida

Trabalho Fim de Curso

ANEXO I

Velocidade Média do Vento

Com base num estudo genérico sobre a variação da velocidade do vento, foi construído um histograma da variação média mensal do vento, com base no facto de se saber que, no local, a velocidade média anual do vento ronda os 7 a 8 m/s.

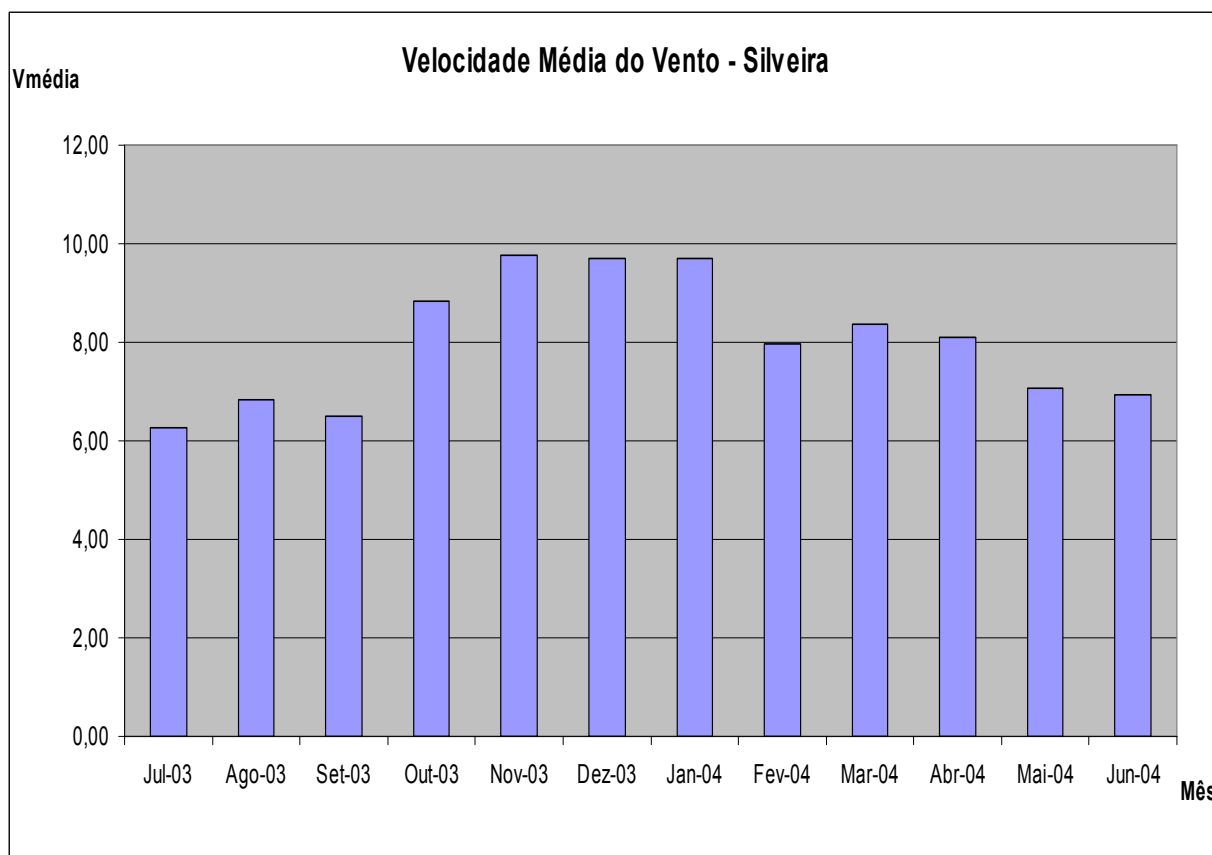
Silveira	**Jul-03**	**Ago-03**	**Set-03**	**Out-03**	**Nov-03**	**Dez-03**	**Jan-04**	**Fev-04**	**Mar-04**	**Abr-04**	**Mai-04**	**Jun-04**	**V média**
Vméd (m/s)	**6,27**	**6,83**	**6,51**	**8,85**	**9,76**	**9,69**	**9,69**	**7,97**	**8,35**	**8,10**	**7,06**	**6,93**	**8,00**
Variação	**-0,22**	**-0,15**	**-0,19**	**0,11**	**0,22**	**0,21**	**0,21**	**-0,00**	**0,04**	**0,01**	**-0,12**	**-0,13**	

Velocidade Média do Vento - Silveira

Vmédia

12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00

Jul-03 Ago-03 Set-03 Out-03 Nov-03 Dez-03 Jan-04 Fev-04 Mar-04 Abr-04 Mai-04 Jun-04

Mês

ANEXO II

Consumos Energéticos

JANEIRO	Diagrama de Cargas - Janeiro																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ALOJAMENTO	82,9	61,0	29,6	27,3	25,1	24,5	24,5	67,0	101,4	123,9	100,7	47,1	26,8	27,1	25,6	24,8	24,1	24,1	44,5	65,9	67,7	68,5	82,5	94,7	82,9
ALOJAMENTO - SERVIÇO	11,9	8,5	4,9	4,6	4,2	4,0	3,5	9,8	14,7	15,7	13,8	9,8	8,6	6,9	4,9	5,3	5,3	3,7	8,0	9,7	10,4	11,4	13,4	15,2	11,9
PARQUE AUTOMÓVEL	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2
CAPELA	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	3,4	4,0	4,2	4,2	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,2	4,3	3,6	3,0	1,5	1,3	1,3	1,2
RECEPÇÃO	2,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	3,6	4,3	4,5	4,5	4,5	4,3	4,3	4,3	4,3	4,5	4,6	4,9	4,9	5,0	5,0	4,5	3,6	2,5
SERVIÇO	6,3	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	13,2	18,5	18,6	33,7	61,9	52,1	42,0	39,2	18,0	61,5	53,3	20,0	19,4	20,1	19,9	16,1	14,3	6,3
RESTAURAÇÃO	3,8	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	3,3	4,7	5,0	5,2	5,6	5,6	5,8	5,8	4,7	4,7	5,0	5,6	5,8	6,4	6,4	6,2	5,2	3,8
RESTAURAÇÃO - SERVIÇO	9,5	5,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	6,6	7,9	8,4	25,3	57,7	85,9	77,9	29,3	12,3	8,0	8,0	27,3	60,1	85,4	77,5	30,7	13,5	9,5
PISCINA	3,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	2,0	2,1	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	2,5	3,3	3,3	3,1	3,3	3,3	3,1
CONG. ÁTRIO/DISTRIBUIÇÃO	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	7,2	10,8	12,6	10,0	10,5	8,3	10,0	10,8	13,8	10,1	9,7	2,4	1,7	1,7	1,7	1,7
CONG. AUDITÓRIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,6	27,7	27,7	27,9	11,7	12,0	27,8	27,9	27,9	27,6	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ILUMINAÇÃO PÚBLICA	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
P (kW)	**157,0**	**119,7**	**84,2**	**81,5**	**79,0**	**78,2**	**77,7**	**142,7**	**192,8**	**204,7**	**227,8**	**232,9**	**227,1**	**192,1**	**135,2**	**113,2**	**152,8**	**146,5**	**188,9**	**232,7**	**237,8**	**229,2**	**193,8**	**187,0**	**157,0**

FEVEREIRO	Diagrama de Cargas - Fevereiro																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ALOJAMENTO	90,0	66,8	34,3	30,9	27,4	26,7	26,7	69,5	103,8	128,6	106,5	54,0	33,7	35,2	33,6	32,7	32,0	32,0	52,4	75,0	76,8	77,7	92,8	103,9	90,0
ALOJAMENTO - SERVIÇO	12,8	9,1	5,4	5,0	4,5	4,4	3,8	10,1	14,8	16,2	14,4	10,6	9,5	7,7	5,7	6,2	6,2	4,5	8,5	10,5	11,1	12,2	14,3	16,2	12,8
PARQUE AUTOMÓVEL	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2
CAPELA	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	3,4	4,0	4,2	4,2	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,2	4,2	3,7	3,0	1,5	1,3	1,3	1,2
RECEPÇÃO	2,6	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	3,6	4,4	4,8	4,9	5,1	5,0	5,0	5,0	5,0	5,1	5,2	5,4	5,4	5,5	5,3	4,8	4,0	2,6
SERVIÇO	6,3	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	13,1	18,3	18,5	33,7	61,7	52,1	41,9	39,2	25,2	61,5	53,2	19,8	19,1	19,9	19,8	16,1	14,3	6,3
RESTAURAÇÃO	5,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,1	5,4	6,5	7,0	7,1	8,5	8,7	8,7	7,2	6,2	6,4	7,7	8,6	9,3	8,8	8,7	7,2	5,0
RESTAURAÇÃO - SERVIÇO	9,5	5,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	6,5	7,8	8,3	25,3	57,6	85,8	77,8	29,3	12,3	8,0	8,0	27,2	60,0	85,4	77,5	30,7	13,5	9,5
PISCINA	3,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	2,5	2,7	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,1	3,7	3,9	3,9	4,1	4,1	3,9
CONG. ÁTRIO/DISTRIBUIÇÃO	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,9	7,5	11,2	13,2	10,4	10,7	8,5	11,0	11,3	14,3	10,7	9,9	2,6	1,7	1,7	1,7	1,7
CONG. AUDITÓRIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,6	27,6	27,7	27,9	11,7	12,0	27,8	27,9	27,9	27,6	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ILUMINAÇÃO PÚBLICA	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
P (kW)	**167,2**	**127,1**	**90,2**	**86,4**	**82,4**	**81,6**	**81,1**	**146,8**	**196,7**	**212,4**	**237,3**	**243,8**	**239,5**	**205,3**	**148,5**	**133,8**	**164,7**	**158,2**	**200,7**	**246,2**	**251,7**	**242,6**	**208,6**	**200,3**	**167,2**

MARÇO	Diagrama de Cargas - Março																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ALOJAMENTO	97,1	72,6	39,0	34,4	29,6	29,0	29,0	71,9	106,3	133,3	112,4	61,0	40,7	43,3	41,6	40,5	39,9	39,9	60,2	84,1	85,9	86,9	103,1	113,1	97,1
ALOJAMENTO - SERVIÇO	13,6	9,8	5,9	5,4	4,8	4,7	4,1	10,4	15,0	16,7	15,1	11,4	10,3	8,5	6,5	7,0	7,0	5,4	9,0	11,2	11,9	13,0	15,2	17,2	13,6
PARQUE AUTOMÓVEL	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	**0,0**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,0**	**0,0**	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2
CAPELA	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	3,4	3,9	4,2	4,2	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,2	4,2	3,7	3,0	1,5	1,3	1,3	1,2
RECEPÇÃO	2,8	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	3,7	4,4	5,1	5,2	5,7	5,6	5,6	5,6	5,6	5,7	5,8	6,0	6,0	6,0	5,7	5,1	4,3	2,8
SERVIÇO	6,3	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	13,0	18,1	18,4	33,6	61,6	52,1	41,8	39,3	32,5	61,5	53,0	19,6	18,9	19,8	19,6	16,0	14,2	6,3
RESTAURAÇÃO	6,3	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,8	6,1	7,9	8,9	8,7	11,5	11,7	11,7	9,6	7,6	7,8	9,7	11,4	12,2	11,2	11,1	9,1	6,3
RESTAURAÇÃO - SERVIÇO	9,5	5,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	6,5	7,8	8,3	25,3	57,6	85,8	77,8	29,3	12,2	7,9	7,9	27,1	59,9	85,3	77,5	30,7	13,5	9,5
PISCINA	4,7	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,1	3,3	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,7	4,2	4,6	4,7	4,8	4,8	4,7
CONG. ÁTRIO/DISTRIBUIÇÃO	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	2,1	7,7	11,5	13,7	10,9	10,9	8,8	12,0	11,9	14,9	11,2	10,1	2,8	1,7	1,7	1,7	1,7
CONG. AUDITÓRIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,5	27,6	27,7	27,8	11,7	11,9	27,7	27,8	27,8	27,5	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ILUMINAÇÃO PÚBLICA	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	**0,0**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,0**	**0,0**	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
P (kW)	**177,4**	**134,4**	**96,3**	**91,2**	**85,8**	**85,0**	**84,5**	**150,8**	**166,5**	**220,1**	**246,8**	**254,7**	**251,9**	**218,5**	**161,8**	**154,3**	**176,6**	**169,9**	**178,3**	**225,6**	**265,7**	**256,0**	**223,3**	**213,6**	**177,4**

ABRIL	Diagrama de Cargas - Abril																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ALOJAMENTO	104,1	78,5	43,7	38,0	31,9	31,2	31,2	74,4	108,7	138,1	118,2	68,0	47,7	51,4	49,6	48,4	47,8	47,8	68,1	93,2	95,0	96,1	113,5	122,3	104,1
ALOJAMENTO - SERVIÇO	14,5	10,4	6,5	5,8	5,1	5,0	4,4	10,7	15,2	17,2	15,7	12,2	11,2	9,4	7,4	7,8	7,8	6,2	9,6	12,0	12,7	13,8	16,1	18,2	14,5
PARQUE AUTOMÓVEL	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	**14,2**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**14,2**	**14,2**	14,2	14,2	14,2
CAPELA	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	3,4	3,9	4,1	4,1	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,1	4,2	3,7	3,0	1,5	1,3	1,3	1,2
RECEPÇÃO	3,0	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	3,7	4,5	5,3	5,6	6,3	6,2	6,2	6,2	6,2	6,3	6,4	6,5	6,5	6,6	6,1	5,5	4,6	3,0
SERVIÇO	6,3	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	12,9	17,9	18,3	33,5	61,5	52,0	41,7	39,3	39,7	61,4	52,8	19,4	18,7	19,7	19,5	16,0	14,2	6,3
RESTAURAÇÃO	7,5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	5,6	6,7	9,4	10,7	10,2	14,4	14,6	14,6	12,1	9,1	9,3	11,8	14,3	15,0	13,7	13,6	11,1	7,5
RESTAURAÇÃO - SERVIÇO	9,5	5,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	6,4	7,8	8,3	25,2	57,6	85,8	77,8	29,2	12,2	7,9	7,9	27,1	59,8	85,3	77,4	30,6	13,5	9,5
PISCINA	5,5	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,7	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	4,2	4,6	5,2	5,5	5,6	5,6	5,5
CONG. ÁTRIO/DISTRIBUIÇÃO	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	2,3	8,0	11,8	14,2	11,4	11,1	9,0	12,9	12,4	15,4	11,8	10,3	3,0	1,7	1,7	1,7	1,7
CONG. AUDITÓRIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,5	27,6	27,6	27,8	11,6	11,9	27,7	27,8	27,8	27,5	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ILUMINAÇÃO PÚBLICA	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	**20,0**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**20,0**	**20,0**	20,0	20,0	20,0
P (kW)	**187,6**	**141,7**	**102,4**	**96,1**	**89,2**	**88,4**	**87,9**	**154,8**	**170,4**	**227,8**	**256,3**	**265,6**	**264,4**	**231,7**	**175,1**	**174,9**	**188,5**	**181,6**	**190,2**	**239,1**	**279,6**	**269,4**	**238,1**	**226,9**	**187,6**

MAIO	Diagrama de Cargas - Maio																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ALOJAMENTO	111,2	84,3	48,4	41,6	34,1	33,5	33,5	76,8	111,2	142,8	124,0	74,9	54,6	59,4	57,6	56,3	55,6	55,6	76,0	102,3	104,0	105,3	123,8	131,5	111,2
ALOJAMENTO - SERVIÇO	15,4	11,0	7,0	6,3	5,4	5,3	4,7	11,0	15,3	17,8	16,3	13,0	12,0	10,2	8,2	8,7	8,7	7,0	10,1	12,8	13,5	14,6	17,0	19,2	15,4
PARQUE AUTOMÓVEL	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,2	14,2	14,2
CAPELA	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	3,4	3,9	4,1	4,1	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,1	4,1	3,8	3,0	1,5	1,3	1,3	1,2
RECEPÇÃO	3,1	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	3,8	4,6	5,6	5,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	7,0	7,1	7,1	7,1	6,4	5,8	5,0	3,1
SERVIÇO	6,3	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	12,8	17,7	18,2	33,4	61,4	52,0	41,6	39,3	46,9	61,4	52,7	19,2	18,4	19,5	19,3	15,9	14,2	6,3
RESTAURAÇÃO	8,8	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	6,3	7,4	10,8	12,5	11,7	17,4	17,5	17,5	14,5	10,5	10,7	13,9	17,1	17,9	16,1	16,1	13,1	8,8
RESTAURAÇÃO - SERVIÇO	9,5	5,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	6,4	7,7	8,2	25,2	57,5	85,8	77,7	29,2	12,2	7,9	7,9	27,0	59,7	85,2	77,4	30,6	13,5	9,5
PISCINA	6,4	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	4,3	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,8	5,0	5,8	6,3	6,4	6,4	6,4
CONG. ÁTRIO/DISTRIBUIÇÃO	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	2,5	8,2	12,1	14,8	11,8	11,2	9,2	13,9	13,0	16,0	12,3	10,5	3,2	1,7	1,7	1,7	1,7
CONG. AUDITÓRIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,5	27,6	27,6	27,8	11,6	11,9	27,7	27,8	27,8	27,5	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ILUMINAÇÃO PÚBLICA	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20,0	20,0
P (kW)	**197,8**	**149,0**	**108,5**	**100,9**	**92,6**	**91,8**	**91,3**	**124,7**	**174,4**	**235,4**	**265,7**	**276,5**	**276,8**	**244,9**	**188,5**	**195,5**	**200,4**	**193,3**	**202,0**	**252,7**	**259,3**	**248,6**	**252,8**	**240,2**	**197,8**

JUNHO	Diagrama de Cargas - Junho																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ALOJAMENTO	118,3	90,1	53,1	45,2	36,4	35,7	35,7	79,3	113,6	147,5	129,9	81,9	61,6	67,5	65,6	64,2	63,5	63,5	83,9	111,3	113,1	114,5	134,1	140,8	118,3
ALOJAMENTO - SERVIÇO	16,2	11,7	7,5	6,7	5,7	5,6	5,1	11,4	15,5	18,3	17,0	13,7	12,9	11,0	9,0	9,5	9,5	7,9	10,6	13,6	14,2	15,4	17,9	20,3	16,2
PARQUE AUTOMÓVEL	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,2	14,2	14,2
CAPELA	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	3,4	3,8	4,1	4,1	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,1	4,1	3,8	3,0	1,5	1,3	1,3	1,2
RECEPÇÃO	3,3	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	3,9	4,7	5,9	6,3	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,6	7,6	7,6	7,6	6,8	6,1	5,3	3,3
SERVIÇO	6,3	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	12,7	17,5	18,0	33,4	61,3	52,0	41,5	39,4	54,1	61,4	52,5	19,0	18,2	19,4	19,2	15,9	14,2	6,3
RESTAURAÇÃO	10,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	7,1	8,1	12,2	14,3	13,3	20,3	20,5	20,5	16,9	11,9	12,1	16,0	19,9	20,7	18,5	18,5	15,1	10,0
RESTAURAÇÃO - SERVIÇO	9,5	5,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	6,3	7,7	8,2	25,2	57,5	85,7	77,7	29,2	12,1	7,8	7,8	26,9	59,6	85,2	77,3	30,6	13,5	9,5
PISCINA	7,2	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,9	5,1	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,4	5,5	6,5	7,0	7,2	7,2	7,2
CONG. ÁTRIO/DISTRIBUIÇÃO	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	2,8	8,5	12,4	15,3	12,3	11,4	9,5	14,8	13,6	16,5	12,9	10,7	3,4	1,7	1,7	1,7	1,7
CONG. AUDITÓRIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4	27,5	27,6	27,7	11,6	11,8	27,6	27,7	27,7	27,5	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ILUMINAÇÃO PÚBLICA	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20,0	20,0
P (kW)	**208,0**	**156,3**	**114,5**	**105,8**	**96,0**	**95,2**	**94,7**	**128,7**	**178,3**	**243,1**	**275,2**	**287,4**	**289,2**	**258,1**	**201,8**	**216,1**	**212,3**	**205,0**	**213,8**	**266,2**	**273,2**	**262,0**	**267,6**	**253,5**	**208,0**

Diagrama de Cargas - Julho

JULHO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ALOJAMENTO	125,4	96,0	57,8	48,8	38,6	38,0	38,0	81,8	116,1	152,2	135,7	88,8	68,5	75,6	73,6	72,0	71,4	71,4	91,7	120,4	122,2	123,7	144,5	150,0	125,4
ALOJAMENTO - SERVIÇO	17,1	12,3	8,0	7,1	6,0	5,9	5,4	11,7	15,7	18,8	17,6	14,5	13,7	11,9	9,9	10,3	10,3	8,7	11,2	14,3	15,0	16,2	18,8	21,3	17,1
PARQUE AUTOMÓVEL	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,2	14,2	14,2
CAPELA	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	3,4	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,1	3,8	3,0	1,5	1,3	1,3	1,2
RECEPÇÃO	3,5	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	3,9	4,7	6,1	6,6	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	7,1	6,5	5,6	3,5
SERVIÇO	6,3	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	12,6	17,3	17,9	33,3	61,2	51,9	41,4	39,4	61,3	61,3	52,3	18,8	17,9	19,3	19,0	15,9	14,2	6,3
RESTAURAÇÃO	11,3	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	7,8	8,8	13,7	16,1	14,8	23,2	23,4	23,4	19,4	13,4	13,6	18,1	22,7	23,6	21,0	21,0	17,0	11,3
RESTAURAÇÃO - SERVIÇO	9,5	5,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	6,3	7,7	8,2	25,1	57,5	85,7	77,7	29,1	12,1	7,8	7,8	26,9	59,6	85,1	77,3	30,5	13,5	9,5
PISCINA	8,0	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,5	5,6	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	7,1	7,8	8,0	8,0	8,0
CONG. ÁTRIO/DISTRIBUIÇÃO	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	3,0	8,8	12,8	15,9	12,7	11,6	9,7	15,8	14,1	17,0	13,4	10,9	3,6	1,7	1,7	1,7	1,7
CONG. AUDITÓRIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4	27,5	27,5	27,7	11,6	11,8	27,6	27,7	27,7	27,4	15,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ILUMINAÇÃO PÚBLICA	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20,0	20,0
P (kW)	**218,1**	**163,6**	**120,6**	**110,6**	**99,4**	**98,6**	**98,1**	**132,7**	**182,3**	**250,8**	**284,7**	**298,3**	**301,7**	**271,3**	**215,1**	**236,7**	**224,2**	**216,6**	**225,6**	**279,8**	**287,1**	**275,4**	**282,4**	**266,8**	**218,1**

Diagrama de Cargas - Agosto

AGOSTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ALOJAMENTO	118,3	90,1	53,1	45,2	36,4	35,7	35,7	79,3	113,6	147,5	129,9	81,9	61,6	67,5	65,6	64,2	63,5	63,5	83,9	111,3	113,1	114,5	134,1	140,8	118,3
ALOJAMENTO - SERVIÇO	16,2	11,7	7,5	6,7	5,7	5,6	5,1	11,4	15,5	18,3	17,0	13,7	12,9	11,0	9,0	9,5	9,5	7,9	10,6	13,6	14,2	15,4	17,9	20,3	16,2
PARQUE AUTOMÓVEL	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,2	14,2	14,2
CAPELA	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	3,4	3,8	4,1	4,1	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,1	4,1	3,8	3,0	1,5	1,3	1,3	1,2
RECEPÇÃO	3,3	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	3,9	4,7	5,9	6,3	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,6	7,6	7,6	7,6	6,8	6,1	5,3	3,3
SERVIÇO	6,3	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	12,7	17,5	18,0	33,4	61,3	52,0	41,5	39,4	54,1	61,4	52,5	19,0	18,2	19,4	19,2	15,9	14,2	6,3
RESTAURAÇÃO	10,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	7,1	8,1	12,2	14,3	13,3	20,3	20,5	20,5	16,9	11,9	12,1	16,0	19,9	20,7	18,5	18,5	15,1	10,0
RESTAURAÇÃO - SERVIÇO	9,5	5,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	6,3	7,7	8,2	25,2	57,5	85,7	77,7	29,2	12,1	7,8	7,8	26,9	59,6	85,2	77,3	30,6	13,5	9,5
PISCINA	7,2	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,9	5,1	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,4	5,5	6,5	7,0	7,2	7,2	7,2
CONG. ÁTRIO/DISTRIBUIÇÃO	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	2,8	8,5	12,4	15,3	12,3	11,4	9,5	14,8	13,6	16,5	12,9	10,7	3,4	1,7	1,7	1,7	1,7
CONG. AUDITÓRIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4	27,5	27,6	27,7	11,6	11,8	27,6	27,7	27,7	27,5	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ILUMINAÇÃO PÚBLICA	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20,0	20,0
P (kW)	**208,0**	**156,3**	**114,5**	**105,8**	**96,0**	**95,2**	**94,7**	**128,7**	**178,3**	**243,1**	**275,2**	**287,4**	**289,2**	**258,1**	**201,8**	**216,1**	**212,3**	**205,0**	**213,8**	**266,2**	**273,2**	**262,0**	**267,6**	**253,5**	**208,0**

Diagrama de Cargas - Setembro

SETEMBRO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ALOJAMENTO	111,2	84,3	48,4	41,6	34,1	33,5	33,5	76,8	111,2	142,8	124,0	74,9	54,6	59,4	57,6	56,3	55,6	55,6	76,0	102,3	104,0	105,3	123,8	131,5	111,2
ALOJAMENTO - SERVIÇO	15,4	11,0	7,0	6,3	5,4	5,3	4,7	11,0	15,3	17,8	16,3	13,0	12,0	10,2	8,2	8,7	8,7	7,0	10,1	12,8	13,5	14,6	17,0	19,2	15,4
PARQUE AUTOMÓVEL	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	**14,2**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**14,2**	**14,2**	14,2	14,2	14,2
CAPELA	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	3,4	3,9	4,1	4,1	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,1	4,1	3,8	3,0	1,5	1,3	1,3	1,2
RECEPÇÃO	3,1	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	3,8	4,6	5,6	5,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	7,0	7,1	7,1	7,1	6,4	5,8	5,0	3,1
SERVIÇO	6,3	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	12,8	17,7	18,2	33,4	61,4	52,0	41,6	39,3	46,9	61,4	52,7	19,2	18,4	19,5	19,3	15,9	14,2	6,3
RESTAURAÇÃO	8,8	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	6,3	7,4	10,8	12,5	11,7	17,4	17,5	17,5	14,5	10,5	10,7	13,9	17,1	17,9	16,1	16,1	13,1	8,8
RESTAURAÇÃO - SERVIÇO	9,5	5,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	6,4	7,7	8,2	25,2	57,5	85,8	77,7	29,2	12,2	7,9	7,9	27,0	59,7	85,2	77,4	30,6	13,5	9,5
PISCINA	6,4	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	4,3	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,8	5,0	5,8	6,3	6,4	6,4	6,4
CONG. ÁTRIO/DISTRIBUIÇÃO	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	2,5	8,2	12,1	14,8	11,8	11,2	9,2	13,9	13,0	16,0	12,3	10,5	3,2	1,7	1,7	1,7	1,7
CONG. AUDITÓRIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,5	27,6	27,6	27,8	11,6	11,9	27,7	27,8	27,8	27,5	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ILUMINAÇÃO PÚBLICA	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	**20,0**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**20,0**	**20,0**	20,0	20,0	20,0
P (kW)	**197,8**	**149,0**	**108,5**	**100,9**	**92,6**	**91,8**	**91,3**	**158,9**	**174,4**	**235,4**	**265,7**	**276,5**	**276,8**	**244,9**	**188,5**	**195,5**	**200,4**	**193,3**	**202,0**	**252,7**	**293,5**	**282,8**	**252,8**	**240,2**	**197,8**

Diagrama de Cargas - Outubro

OUTUBRO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ALOJAMENTO	104,1	78,5	43,7	38,0	31,9	31,2	31,2	74,4	108,7	138,1	118,2	68,0	47,7	51,4	49,6	48,4	47,8	47,8	68,1	93,2	95,0	96,1	113,5	122,3	104,1
ALOJAMENTO - SERVIÇO	14,5	10,4	6,5	5,8	5,1	5,0	4,4	10,7	15,2	17,2	15,7	12,2	11,2	9,4	7,4	7,8	7,8	6,2	9,6	12,0	12,7	13,8	16,1	18,2	14,5
PARQUE AUTOMÓVEL	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	**0,0**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,0**	**0,0**	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2
CAPELA	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	3,4	3,9	4,1	4,1	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,1	4,2	3,7	3,0	1,5	1,3	1,3	1,2
RECEPÇÃO	3,0	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	3,7	4,5	5,3	5,6	6,3	6,2	6,2	6,2	6,2	6,3	6,4	6,5	6,5	6,6	6,1	5,5	4,6	3,0
SERVIÇO	6,3	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	12,9	17,9	18,3	33,5	61,5	52,0	41,7	39,3	39,7	61,4	52,8	19,4	18,7	19,7	19,5	16,0	14,2	6,3
RESTAURAÇÃO	7,5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	5,6	6,7	9,4	10,7	10,2	14,4	14,6	14,6	12,1	9,1	9,3	11,8	14,3	15,0	13,7	13,6	11,1	7,5
RESTAURAÇÃO - SERVIÇO	9,5	5,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	6,4	7,8	8,3	25,2	57,6	85,8	77,8	29,2	12,2	7,9	7,9	27,1	59,8	85,3	77,4	30,6	13,5	9,5
PISCINA	5,5	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,7	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	4,2	4,6	5,2	5,5	5,6	5,6	5,5
CONG. ÁTRIO/DISTRIBUIÇÃO	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	2,3	8,0	11,8	14,2	11,4	11,1	9,0	12,9	12,4	15,4	11,8	10,3	3,0	1,7	1,7	1,7	1,7
CONG. AUDITÓRIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,5	27,6	27,6	27,8	11,6	11,9	27,7	27,8	27,8	27,5	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ILUMINAÇÃO PÚBLICA	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	**0,0**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,0**	**0,0**	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
P (kW)	**187,6**	**141,7**	**102,4**	**96,1**	**89,2**	**88,4**	**87,9**	**154,8**	**170,4**	**227,8**	**256,3**	**265,6**	**264,4**	**231,7**	**175,1**	**174,9**	**188,5**	**181,6**	**190,2**	**239,1**	**279,6**	**269,4**	**238,1**	**226,9**	**187,6**

Diagrama de Cargas - Novembro

NOVEMBRO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ALOJAMENTO	97,1	72,6	39,0	34,4	29,6	29,0	29,0	71,9	106,3	133,3	112,4	61,0	40,7	43,3	41,6	40,5	39,9	39,9	60,2	84,1	85,9	86,9	103,1	113,1	97,1
ALOJAMENTO - SERVIÇO	13,6	9,8	5,9	5,4	4,8	4,7	4,1	10,4	15,0	16,7	15,1	11,4	10,3	8,5	6,5	7,0	7,0	5,4	9,0	11,2	11,9	13,0	15,2	17,2	13,6
PARQUE AUTOMÓVEL	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2
CAPELA	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	3,4	3,9	4,2	4,2	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,2	4,2	3,7	3,0	1,5	1,3	1,3	1,2
RECEPÇÃO	2,8	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	3,7	4,4	5,1	5,2	5,7	5,6	5,6	5,6	5,6	5,7	5,8	6,0	6,0	6,0	5,7	5,1	4,3	2,8
SERVIÇO	6,3	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	13,0	18,1	18,4	33,6	61,6	52,1	41,8	39,3	32,5	61,5	53,0	19,6	18,9	19,8	19,6	16,0	14,2	6,3
RESTAURAÇÃO	6,3	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,8	6,1	7,9	8,9	8,7	11,5	11,7	11,7	9,6	7,6	7,8	9,7	11,4	12,2	11,2	11,1	9,1	6,3
RESTAURAÇÃO - SERVIÇO	9,5	5,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	6,5	7,8	8,3	25,3	57,6	85,8	77,8	29,3	12,2	7,9	7,9	27,1	59,9	85,3	77,5	30,7	13,5	9,5
PISCINA	4,7	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,1	3,3	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,7	4,2	4,6	4,7	4,8	4,8	4,7
CONG. ÁTRIO/DISTRIBUIÇÃO	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	2,1	7,7	11,5	13,7	10,9	10,9	8,8	12,0	11,9	14,9	11,2	10,1	2,8	1,7	1,7	1,7	1,7
CONG. AUDITÓRIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,5	27,6	27,7	27,8	11,7	11,9	27,7	27,8	27,8	27,5	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ILUMINAÇÃO PÚBLICA	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
P (kW)	**177,4**	**134,4**	**96,3**	**91,2**	**85,8**	**85,0**	**84,5**	**150,8**	**200,7**	**220,1**	**246,8**	**254,7**	**251,9**	**218,5**	**161,8**	**154,3**	**176,6**	**169,9**	**212,5**	**259,8**	**265,7**	**256,0**	**223,3**	**213,6**	**177,4**

Diagrama de Cargas - Dezembro

DEZEMBRO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ALOJAMENTO	90,0	66,8	34,3	30,9	27,4	26,7	26,7	69,5	103,8	128,6	106,5	54,0	33,7	35,2	33,6	32,7	32,0	32,0	52,4	75,0	76,8	77,7	92,8	103,9	90,0
ALOJAMENTO - SERVIÇO	12,8	9,1	5,4	5,0	4,5	4,4	3,8	10,1	14,8	16,2	14,4	10,6	9,5	7,7	5,7	6,2	6,2	4,5	8,5	10,5	11,1	12,2	14,3	16,2	12,8
PARQUE AUTOMÓVEL	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2
CAPELA	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	3,4	4,0	4,2	4,2	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,2	4,2	3,7	3,0	1,5	1,3	1,3	1,2
RECEPÇÃO	2,6	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	3,6	4,4	4,8	4,9	5,1	5,0	5,0	5,0	5,0	5,1	5,2	5,4	5,4	5,5	5,3	4,8	4,0	2,6
SERVIÇO	6,3	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	13,1	18,3	18,5	33,7	61,7	52,1	41,9	39,2	25,2	61,5	53,2	19,8	19,1	19,9	19,8	16,1	14,3	6,3
RESTAURAÇÃO	5,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,1	5,4	6,5	7,0	7,1	8,5	8,7	8,7	7,2	6,2	6,4	7,7	8,6	9,3	8,8	8,7	7,2	5,0
RESTAURAÇÃO - SERVIÇO	9,5	5,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	6,5	7,8	8,3	25,3	57,6	85,8	77,8	29,3	12,3	8,0	8,0	27,2	60,0	85,4	77,5	30,7	13,5	9,5
PISCINA	3,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	2,5	2,7	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,1	3,7	3,9	3,9	4,1	4,1	3,9
CONG. ÁTRIO/DISTRIBUIÇÃO	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,9	7,5	11,2	13,2	10,4	10,7	8,5	11,0	11,3	14,3	10,7	9,9	2,6	1,7	1,7	1,7	1,7
CONG. AUDITÓRIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,6	27,6	27,7	27,9	11,7	12,0	27,8	27,9	27,9	27,6	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ILUMINAÇÃO PÚBLICA	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
P (kW)	**167,2**	**127,1**	**90,2**	**86,4**	**82,4**	**81,6**	**81,1**	**146,8**	**196,7**	**212,4**	**237,3**	**243,8**	**239,5**	**205,3**	**148,5**	**133,8**	**164,7**	**158,2**	**200,7**	**246,2**	**251,7**	**242,6**	**208,6**	**200,3**	**167,2**

Diagrama de Cargas - Janeiro
P (kW)
300
250
200
150
100
50
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Hora

Diagrama de Cargas - Fevereiro
P (kW)
300
250
200
150
100
50
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Hora

Diagrama de Cargas - Março
P (kW)
300
250
200
150
100
50
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Hora

P (kW)
Diagrama de Cargas - Abril
300
250
200
150
100
50
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Hora

P (kW)
Diagrama de Cargas - Maio
300
250
200
150
100
50
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Hora

P (kW)
Diagrama de Cargas - Junho
300
250
200
150
100
50
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Hora

Diagrama de Cargas - Julho
P (kW)
350
300
250
200
150
100
50
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Hora

Diagrama de Cargas - Agosto
P (kW)
300
250
200
150
100
50
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Hora

Diagrama de Cargas - Setembro
P (kW)
300
250
200
150
100
50
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Hora

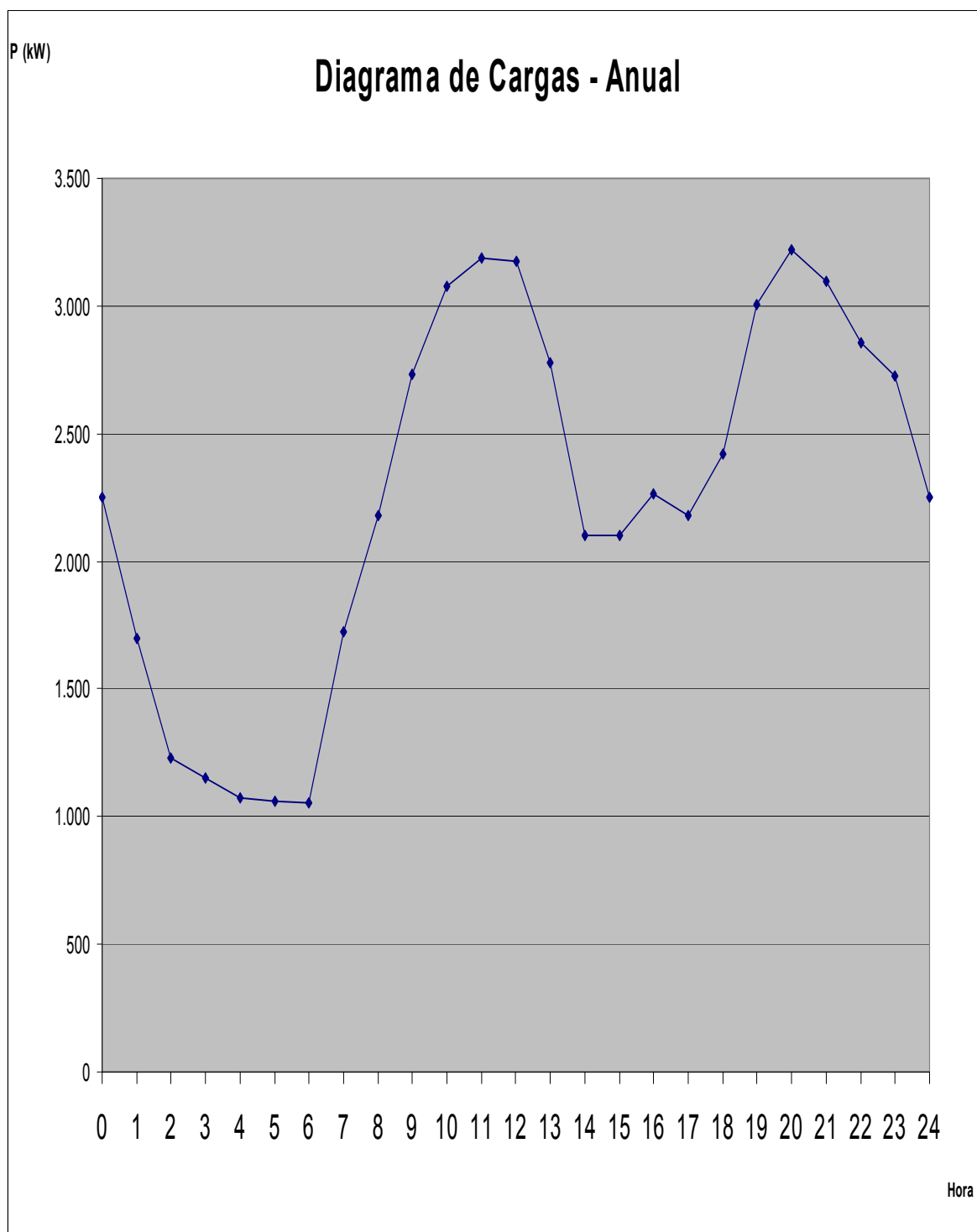
P (kW)
Diagrama de Cargas - Outubro
300
250
200
150
100
50
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Hora

P (kW)
Diagrama de Cargas - Novembro
300
250
200
150
100
50
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Hora

P (kW)
Diagrama de Cargas - Dezembro
300
250
200
150
100
50
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Hora

TOTAL	Diagrama de Cargas - Anual																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
JANEIRO	157,0	119,7	84,2	81,5	79,0	78,2	77,7	142,7	192,8	204,7	227,8	232,9	227,1	192,1	135,2	113,2	152,8	146,5	188,9	232,7	237,8	229,2	193,8	187,0	157,0
FEVEREIRO	167,2	127,1	90,2	86,4	82,4	81,6	81,1	146,8	196,7	212,4	237,3	243,8	239,5	205,3	148,5	133,8	164,7	158,2	200,7	246,2	251,7	242,6	208,6	200,3	167,2
MARÇO	177,4	134,4	96,3	91,2	85,8	85,0	84,5	150,8	166,5	220,1	246,8	254,7	251,9	218,5	161,8	154,3	176,6	169,9	178,3	225,6	265,7	256,0	223,3	213,6	177,4
ABRIL	187,6	141,7	102,4	96,1	89,2	88,4	87,9	154,8	170,4	227,8	256,3	265,6	264,4	231,7	175,1	174,9	188,5	181,6	190,2	239,1	279,6	269,4	238,1	226,9	187,6
MAIO	197,8	149,0	108,5	100,9	92,6	91,8	91,3	124,7	174,4	235,4	265,7	276,5	276,8	244,9	188,5	195,5	200,4	193,3	202,0	252,7	259,3	248,6	252,8	240,2	197,8
JUNHO	208,0	156,3	114,5	105,8	96,0	95,2	94,7	128,7	178,3	243,1	275,2	287,4	289,2	258,1	201,8	216,1	212,3	205,0	213,8	266,2	273,2	262,0	267,6	253,5	208,0
JULHO	218,1	163,6	120,6	110,6	99,4	98,6	98,1	132,7	182,3	250,8	284,7	298,3	301,7	271,3	215,1	236,7	224,2	216,6	225,6	279,8	287,1	275,4	282,4	266,8	218,1
AGOSTO	208,0	156,3	114,5	105,8	96,0	95,2	94,7	128,7	178,3	243,1	275,2	287,4	289,2	258,1	201,8	216,1	212,3	205,0	213,8	266,2	273,2	262,0	267,6	253,5	208,0
SETEMBRO	197,8	149,0	108,5	100,9	92,6	91,8	91,3	158,9	174,4	235,4	265,7	276,5	276,8	244,9	188,5	195,5	200,4	193,3	202,0	252,7	293,5	282,8	252,8	240,2	197,8
OUTUBRO	187,6	141,7	102,4	96,1	89,2	88,4	87,9	154,8	170,4	227,8	256,3	265,6	264,4	231,7	175,1	174,9	188,5	181,6	190,2	239,1	279,6	269,4	238,1	226,9	187,6
NOVEMBRO	177,4	134,4	96,3	91,2	85,8	85,0	84,5	150,8	200,7	220,1	246,8	254,7	251,9	218,5	161,8	154,3	176,6	169,9	212,5	259,8	265,7	256,0	223,3	213,6	177,4
DEZEMBRO	167,2	127,1	90,2	86,4	82,4	81,6	81,1	146,8	196,7	212,4	237,3	243,8	239,5	205,3	148,5	133,8	164,7	158,2	200,7	246,2	251,7	242,6	208,6	200,3	167,2
P (kW)	2.250,9	1.699,9	1.228,7	1.152,8	1.070,2	1.061,0	1.054,4	1.721,3	2.182,0	2.733,1	3.075,2	3.187,2	3.172,6	2.780,2	2.101,7	2.099,1	2.261,7	2.178,8	2.418,6	3.006,3	3.218,3	3.095,8	2.857,1	2.722,9	2.250,9

Consumo Anual:	1.653.169,55	kWh / ano
Consumo Médio Anual Diário:	4.529,23	kWh / dia
Consumo Médio Anual:	188,72	kW
Ponta:	301,68	kW

P (kW)
Diagrama de Cargas - Anual
3.500
3.000
2.500
2.000
1.500
1.000
500
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Hora

ANEXO III

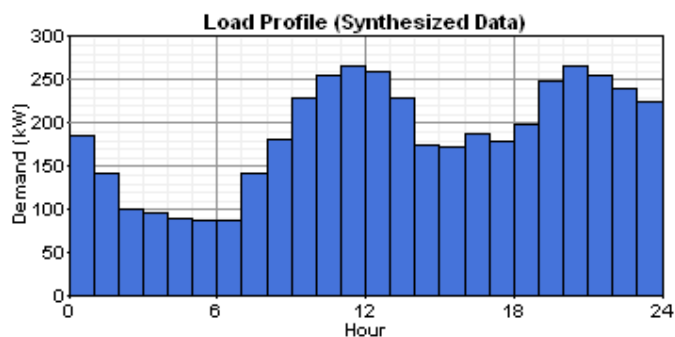
Resultados

AIII/1 – Sistema Híbrido Diesel / Eólica + Célula de Combustível

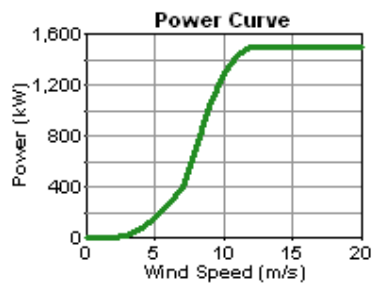
HOMER Input Summary

File name:	18º_GD1500kW_FC600kW_Sensibilidades-2.hmr
File version:	2.19
Author:	João Leitão
Notes:	Aerogerador - 1.5 MW Gerador Diesel - 1500 kW- Célula de Combustível - 600 kW Com sensibilidade alterada Max Ch - 0% Com LF Com sensibilidades: V méd Vento - 5/6/7/8/9 Custo Diesel - 0.6/0.8/1/1.2/1.4 Factores multiplicativos na FC, Elect, Tanque - 1/0.75/0.5/0.25/0

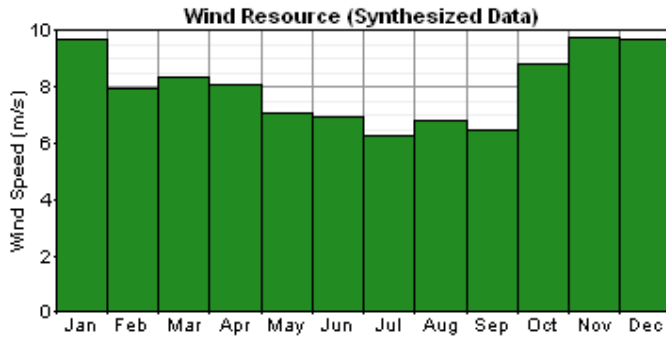
AC Load: Primary Load 1

Data source:	Synthetic
Daily noise:	10%
Hourly noise:	10%
Scaled annual average:	4,504 kWh/d
Scaled peak load:	390 kW
Load factor:	0.481

AC Wind Turbine: GE 1.5 MW

Quantity	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/yr)
1	1,200,000	900,000	24,000

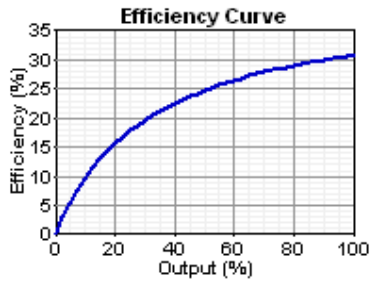
Quantities to consider: 0, 1
Lifetime: 20 yr
Hub height: 80 m

Wind Resource

Data source: Synthetic

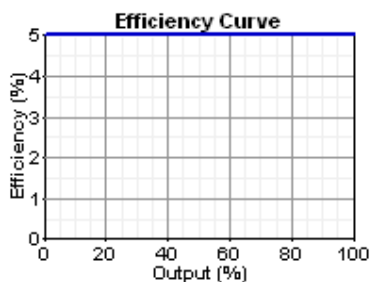
Month	Wind Speed (m/s)
Jan	9.69
Feb	7.97
Mar	8.35
Apr	8.10
May	7.06
Jun	6.93
Jul	6.27
Aug	6.83
Sep	6.51
Oct	8.85
Nov	9.76
Dec	9.69

Weibull k: 2.30
Autocorrelation factor: 0.850
Diurnal pattern strength: 0.250
Hour of peak wind speed: 15
Scaled annual average: 8, 5, 6, 7, 9 m/s
Anemometer height: 80 m
Altitude: 700 m
Wind shear profile: Logarithmic
Surface roughness length: 0.1 m

AC Generator: G Diesel

Size (kW)	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/hr)
400.000	18,000	16,900	1.130
600.000	21,000	19,900	1.260
800.000	23,000	22,000	1.470
1,500.000	30,000	29,000	1.900

Sizes to consider: 0, 1,500 kW
Lifetime: 100,000 hrs
Min. load ratio: 0%
Heat recovery ratio: 0%
Fuel used: Diesel
Fuel curve intercept: 0.08 L/hr/kW
Fuel curve slope: 0.25 L/hr/kW

AC Generator: Fuel Cell

Size (kW)	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/hr)
1.000	2,000	1,800	0.006

Sizes to consider: 0, 600 kW
Lifetime: 43,800 hrs
Min. load ratio: 0%
Heat recovery ratio: 0%
Fuel used: Stored hydrogen
Fuel curve intercept: 0 L/hr/kW
Fuel curve slope: 0.6 L/hr/kW

Fuel: Diesel

Price: $ 0.8, 0.6, 1.0, 1.2, 1.4/L
Lower heating value: 43.2 MJ/kg
Density: 820 kg/m3
Carbon content: 88.0%
Sulfur content: 0.330%

Battery: Trojan L16P

Quantity	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/yr)
1	130	130	6.00

Quantities to consider: 0, 1,000, 2,000, 3,000, 4,000, 5,000, 6,000
Voltage: 6 V
Nominal capacity: 360 Ah
Lifetime throughput: 1,075 kWh

Converter

Size (kW)	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/yr)
1.000	300	300	6

Sizes to consider: 0, 300, 400, 500, 600, 700 kW
Lifetime: 15 yr
Inverter efficiency: 90%
Inverter can parallel with AC generator: Yes
Rectifier relative capacity: 90%
Rectifier efficiency: 85%

AC Electrolyzer

Size (kW)	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/yr)
1.000	1,300	1,100	26

Sizes to consider: 0, 100, 300, 400 kW
Lifetime: 15 yr
Efficiency: 85%
Min. load ratio: 0%

Hydrogen Tank

Size (kg)	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/yr)
1.000	800	700	4

Sizes to consider: 0, 400, 600, 800 kg

Lifetime: 20 yr
Initial tank level: 10%
Constrain year-end tank level: Yes

Economics

Annual real interest rate: 6%
Project lifetime: 25 yr
Capacity shortage penalty: $ 0/kWh
System fixed capital cost: $ 0
System fixed O&M cost: $ 0/yr

Generator control

Check load following: Yes
Check cycle charging: Yes
Setpoint state of charge: 80%
Allow systems with multiple generators: Yes
Allow multiple generators to operate simultaneously: Yes
Allow systems with generator capacity less than peak load: Yes

Emissions

Carbon dioxide penalty: $ 0/t
Carbon monoxide penalty: $ 0/t
Unburned hydrocarbons penalty: $ 0/t
Particulate matter penalty: $ 0/t
Sulfur dioxide penalty: $ 0/t
Nitrogen oxides penalty: $ 0/t

Constraints

Maximum annual capacity shortage: 0%
Minimum renewable fraction: 0%
Operating reserve as percentage of hourly load: 10%
Operating reserve as percentage of peak load: 0%
Operating reserve as percentage of solar power output: 25%
Operating reserve as percentage of wind power output: 50%

Resultados da Simulação

GE1.5	GDies (kW)	FC (kW)	Batt.	Conv. (kW)	Elec. (kW)	H2 Tank (kg)	Disp. Strgy	Initial Capital	Total NPC	COE ($/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	GDies (hrs)	FC (hrs)
1	1500		2000	400			LF	$ 1,610,000	$ 2,871,034	0.137	1.00	32,365	218	
1	1500		2000	400	100		LF	$ 1,740,000	$ 3,071,627	0.146	1.00	32,365	218	
1			6000	400			CC	$ 2,100,000	$ 3,649,670	0.174	1.00			
1			6000	400	100		CC	$ 2,230,000	$ 3,850,262	0.183	1.00			
1	1500	600	2000	400	100		LF	$ 2,940,000	$ 4,026,280	0.192	1.00	32,365	218	0
1		600	4000	500	100	400	CC	$ 3,520,000	$ 4,621,828	0.220	1.00			31
1	1500						CC	$ 1,230,000	$ 6,941,878	0.330	0.96	507,689	3,715	
1	1500				100		CC	$ 1,360,000	$ 7,142,471	0.340	0.96	507,689	3,715	
1	1500	600			300	600	CC	$ 3,300,000	$ 7,532,049	0.358	0.97	337,146	2,396	1,319
	1500		2000	300			CC	$ 380,000	$ 12,221,462	0.582	0.00	1,005,132	4,129	
	1500		2000	300	100		CC	$ 510,000	$ 12,422,054	0.591	0.00	1,005,132	4,129	
	1500	600	2000	300	100		CC	$ 1,710,000	$ 13,376,707	0.637	0.00	1,005,132	4,129	0
	1500						CC	$ 30,000	$ 15,213,239	0.724	0.00	1,462,191	8,760	
	1500				100		CC	$ 160,000	$ 15,413,833	0.733	0.00	1,462,191	8,760	
	1500	600			100		CC	$ 1,360,000	$ 16,368,486	0.779	0.00	1,462,191	8,760	0

Figura AIII.1 – Custo das Possíveis Configurações

Análise de Sensibilidades e Resultados

	Wind (m/s)	Diesel ($/L)	FC Cap. (Mult.)	FC Repl. (Mult.)	Elec. Cap. (Mult.)	Elec. Repl. (Mult.)	HT Cap. (Mult.)	HT Repl. (Mult.)
1	8.000	0.800	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	5.000	0.600	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
3	6.000	1.000	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
4	7.000	1.200	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
5	9.000	1.400	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								

Figura AIII.2 – Tabela de Oscilação de Valores de Algumas das Variáveis

Depois de feita nova simulação, obtemos os seguintes gráficos:

Wind Speed (m/s) x-axis   Diesel Price ($/L) 1.2   FC Capital Multiplier y-axis
Variables to plot
Superimposed Levelized Cost of Energy   New Window...

Optimal System Type

System Types: Wind/GDies/Batt; Wind/GDies/FC/Electrolyzer/Batt
Superimposed: Levelized COE ($/kWh)
Fixed: Diesel Price = $1.2/L

FC Capital Multiplier \ Wind Speed (m/s)	5	6	7	8	9
1.0	0.335	0.218	0.167	0.141	0.127
0.75	0.335	0.218	0.167	0.141	0.127
0.5	0.335	0.218	0.167	0.141	0.127
0.25	0.335	0.218	0.167	0.141	0.127
0.0	0.333	0.218	0.166	0.141	0.127

Right click to copy, save, or modify

Interpolated Values
Wind Speed: 5.14 m/s
FC Capital Multiplier: 0.01500

System type	Total net present cost
Wind/GDies/FC/Electrolyzer/Batt	$ 6,691,189
Wind/GDies/Batt	$ 6,695,878
Wind/GDies/Electrolyzer/Batt	$ 6,731,625
Wind/GDies/FC/Electrolyzer	$ 15,477,845
GDies/Battery	$ 16,543,622
GDies/Electrolyzer/Batt	$ 16,579,369
GDies/FC/Electrolyzer/Batt	$ 16,593,689
Wind/GDies	$ 16,997,782
Wind/GDies/Electrolyzer	$ 17,033,528
GDies	$ 22,689,922

Close

Interpolated Values
Wind Speed: 6.98 m/s
FC Capital Multiplier: 0.00500

System type	Total net present cost
Wind/GDies/FC/Electrolyzer/Batt	$ 3,526,070
Wind/GDies/Batt	$ 3,531,784
Wind/GDies/Electrolyzer/Batt	$ 3,565,858
Wind/GDies/FC/Electrolyzer	$ 8,990,272
Wind/GDies	$ 11,763,025
Wind/GDies/Electrolyzer	$ 11,797,098
GDies/Battery	$ 16,543,623
GDies/Electrolyzer/Batt	$ 16,577,697
GDies/FC/Electrolyzer/Batt	$ 16,582,469
GDies	$ 22,689,922

Close

Figura AIII.3 – Custo de Geração da Electricidade – (Diesel – 1.2€/L)

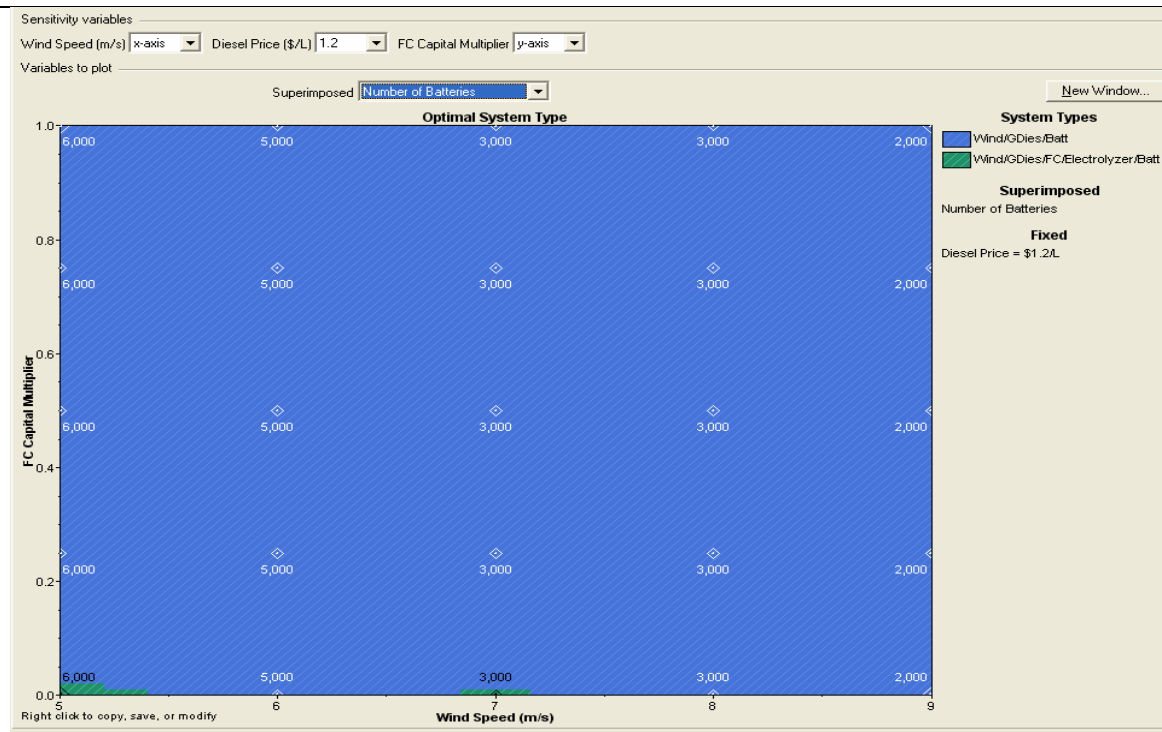



Figura AIII.4 – Número de Baterias – (Diesel – 1.2€/L)

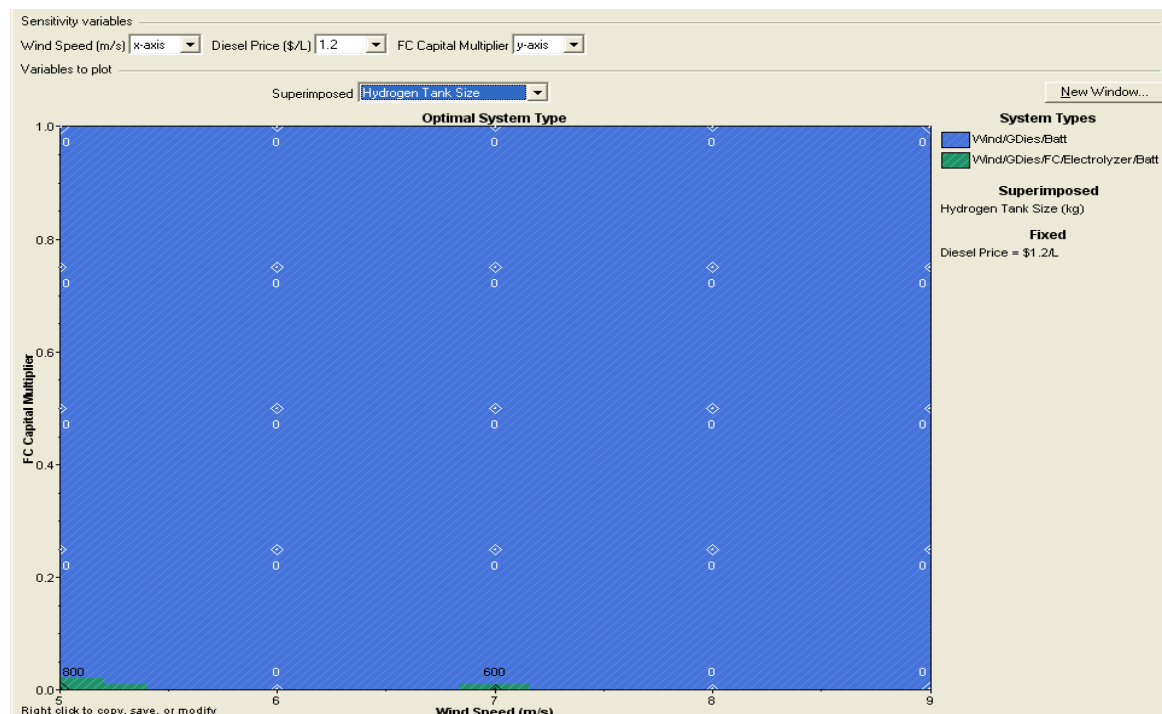



Figura AIII.5 – Capacidade do Tanque de H_2 – (Diesel – 1.2€/L)

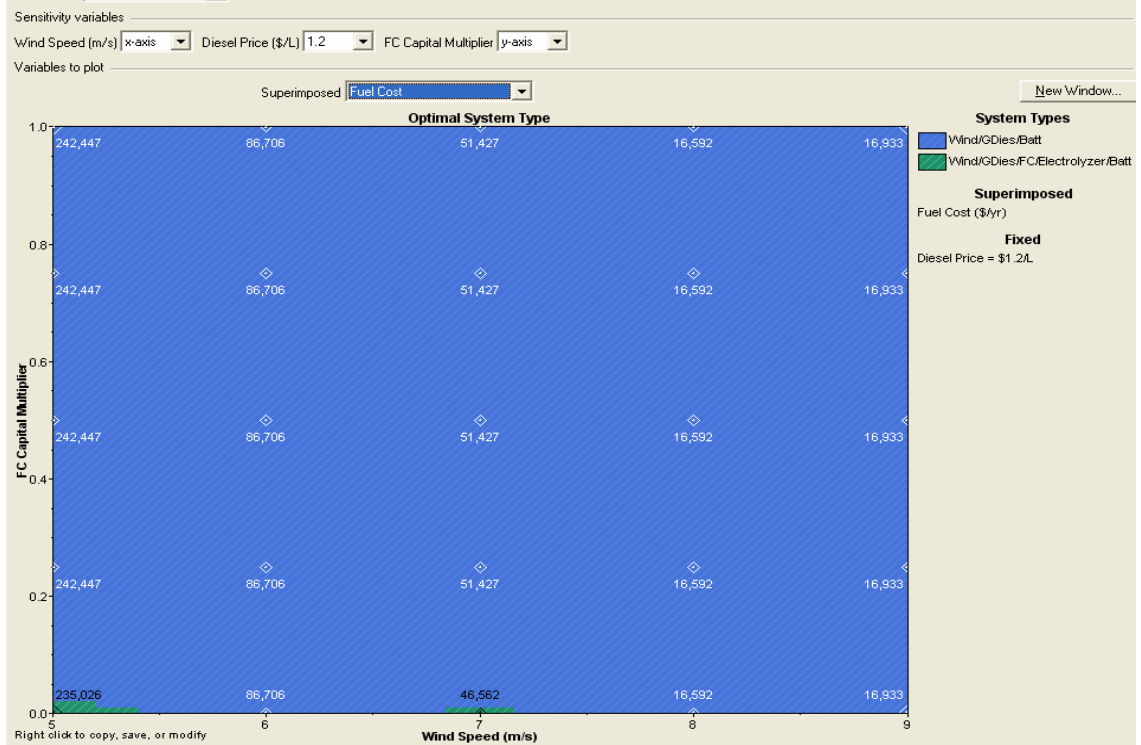



Figura AIII.6 – Custo do Combustível – (Diesel – 1.2€/L)

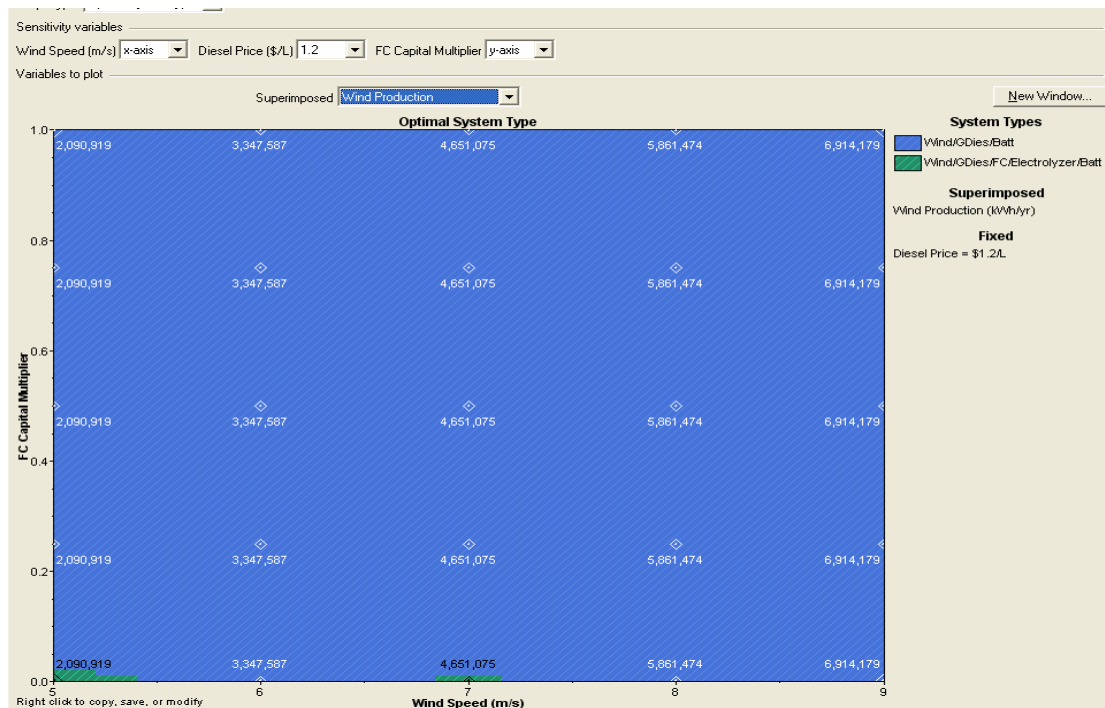



Figura AIII.7 – Produção Eólica – (Diesel – 1.2€/L)

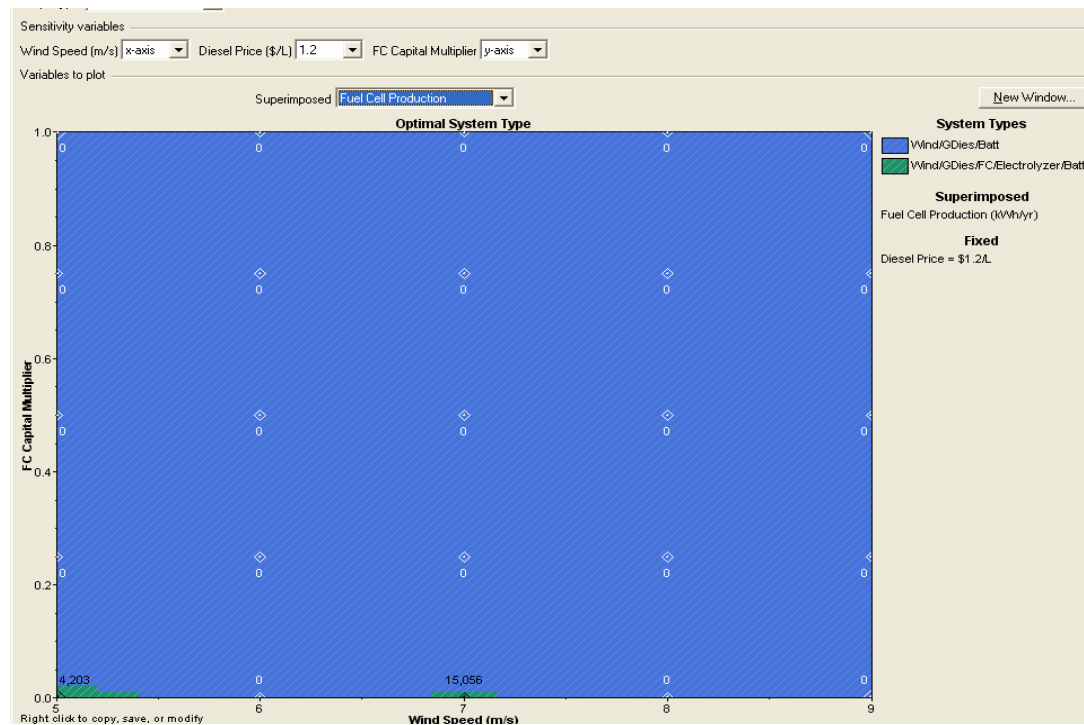



Figura AIII.8 – Produção da Célula de Combustível – (Diesel – 1.2€/L)

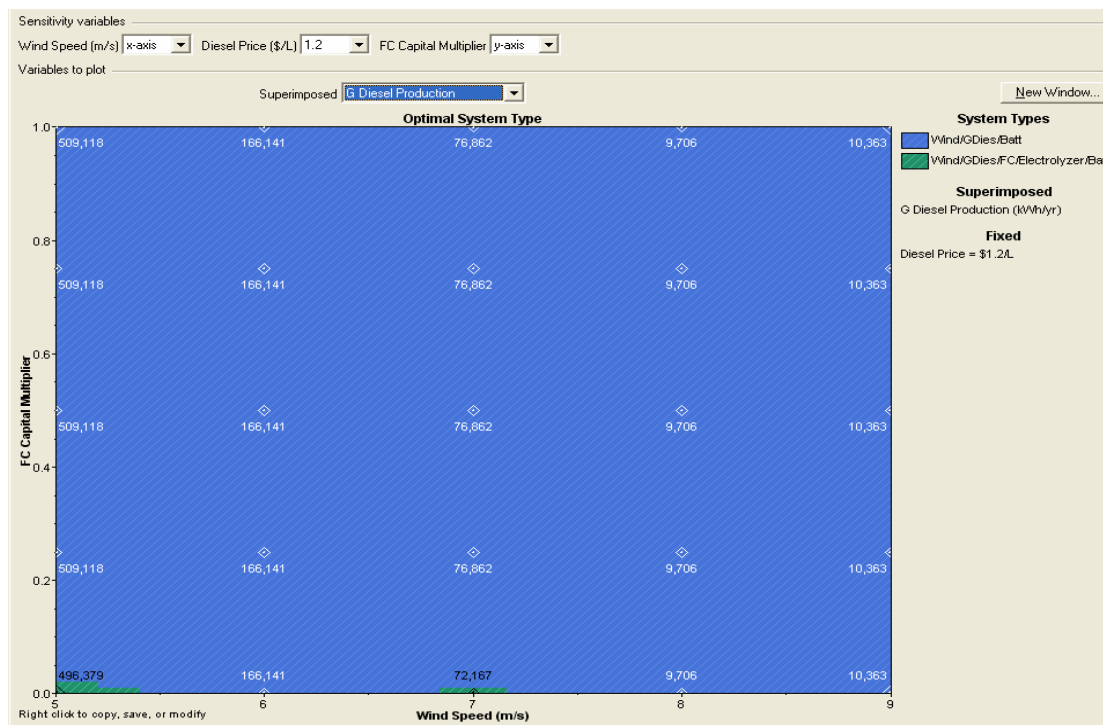



Figura AIII.9 – Produção do Gerador a Diesel – (Diesel – 1.2€/L)

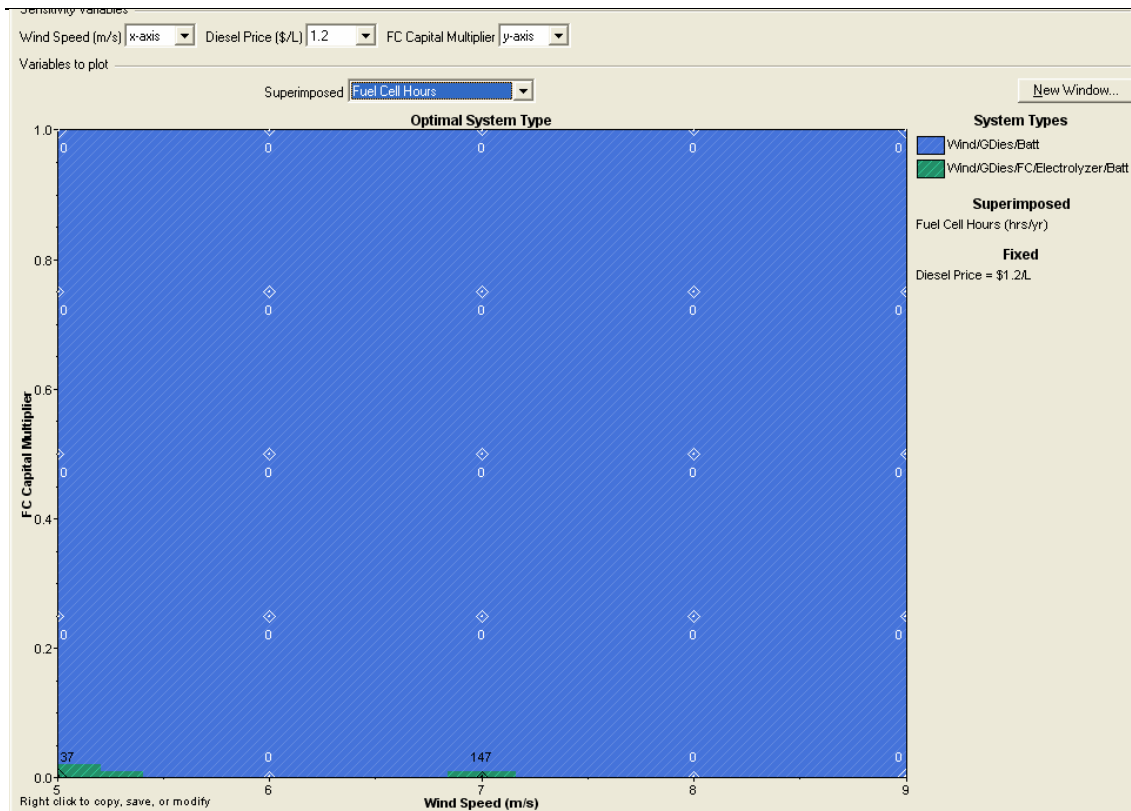



Figura AIII.10 – Tempo de Funcionamento da Célula de Combustível – (Diesel – 1.2€/L)

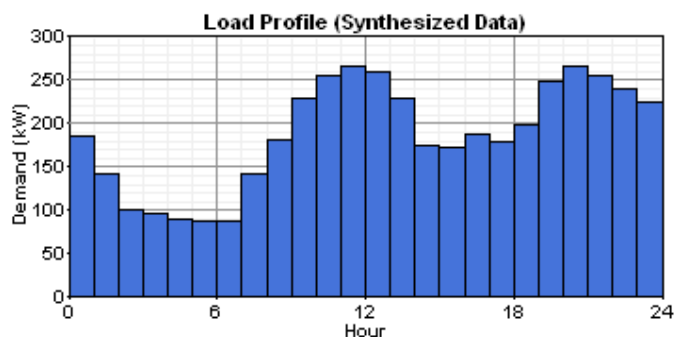
AIII/2 – Sistema Híbrido Diesel / Eólica

2.1 – Aerogerador de 250 kW e Gerador a Diesel de 400 kW

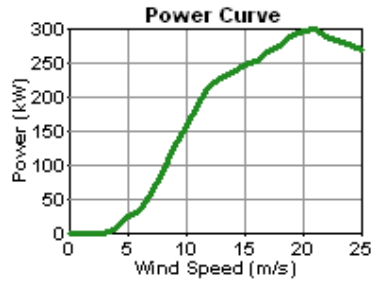
HOMER Input Summary

File name: 1º_GD400_Sensibilidades_3.hmr
File version: 2.19
Author: João Leitão

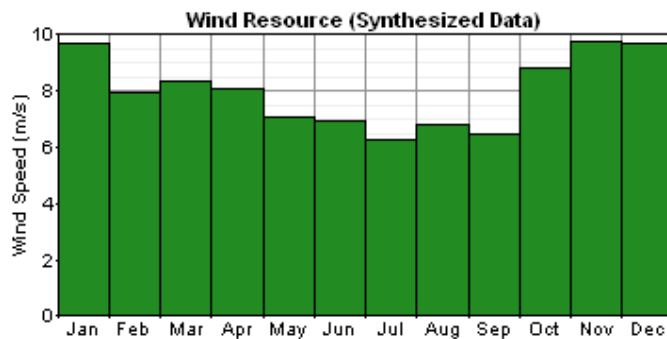
AC Load: Primary Load 1

Data source: Synthetic
Daily noise: 10%
Hourly noise: 10%
Scaled annual average: 4,504 kWh/d
Scaled peak load: 390 kW
Load factor: 0.481

AC Wind Turbine: Fuhrländer 250

Quantity	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/yr)
1	225,000	187,500	4,500

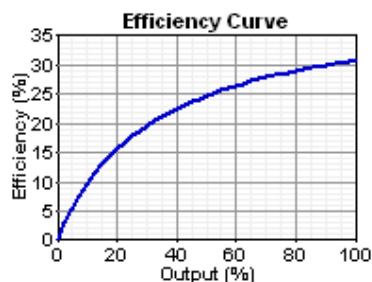
Quantities to consider: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
Lifetime: 20 yr
Hub height: 50 m

Wind Resource

Data source: Synthetic

Month	Wind Speed (m/s)
Jan	9.69
Feb	7.97
Mar	8.35
Apr	8.10
May	7.06
Jun	6.93
Jul	6.27
Aug	6.83
Sep	6.51
Oct	8.85
Nov	9.76
Dec	9.69

Weibull k: 2.30
Autocorrelation factor: 0.850
Diurnal pattern strength: 0.250
Hour of peak wind speed: 15
Scaled annual average: 8, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 m/s
Anemometer height: 30 m
Altitude: 700 m
Wind shear profile: Logarithmic
Surface roughness length: 0.1 m

AC Generator: G Diesel

Size (kW)	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/hr)
400.000	18,000	16,900	1.130
600.000	21,000	19,900	1.260
800.000	23,000	22,000	1.470

Sizes to consider: 0, 400 kW
Lifetime: 100,000 hrs
Min. load ratio: 0%
Heat recovery ratio: 0%
Fuel used: Diesel
Fuel curve intercept: 0.08 L/hr/kW
Fuel curve slope: 0.25 L/hr/kW

Fuel: Diesel

Price: $ 0.8, 0.4, 0.6, 1.0, 1.2, 1.4/L
Lower heating value: 43.2 MJ/kg

Density:	820 kg/m3
Carbon content:	88.0%
Sulfur content:	0.330%

Battery: Trojan L16P

Quantity	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/yr)
1	130	130	6.00

Quantities to consider:	0, 600, 1,000, 1,400, 2,000, 2,500, 3,000, 3,500, 4,000, 4,500, 5,000, 5,500, 6,000
Voltage:	6 V
Nominal capacity:	360 Ah
Lifetime throughput:	1,075 kWh

Converter

Size (kW)	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/yr)
1.000	300	300	6

Sizes to consider:	0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 kW
Lifetime:	15 yr
Inverter efficiency:	90%
Inverter can parallel with AC generator:	Yes
Rectifier relative capacity:	90%
Rectifier efficiency:	85%

Economics

Annual real interest rate:	6%
Project lifetime:	25 yr
Capacity shortage penalty:	$ 0/kWh
System fixed capital cost:	$ 0

System fixed O&M cost: $ 0/yr

Generator control

Check load following: Yes
Check cycle charging: Yes
Setpoint state of charge: 80%
Allow systems with multiple generators: Yes
Allow multiple generators to operate simultaneously: Yes
Allow systems with generator capacity less than peak load: Yes

Emissions

Carbon dioxide penalty: $ 0/t
Carbon monoxide penalty: $ 0/t
Unburned hydrocarbons penalty: $ 0/t
Particulate matter penalty: $ 0/t
Sulfur dioxide penalty: $ 0/t
Nitrogen oxides penalty: $ 0/t

Constraints

Maximum annual capacity shortage: 0%
Minimum renewable fraction: 0%
Operating reserve as percentage of hourly load: 10%
Operating reserve as percentage of peak load: 0%
Operating reserve as percentage of solar power output: 25%
Operating reserve as percentage of wind power output: 50%

Resultados da Simulação

Figura AIII.11 – Custo das Possíveis Configurações

Análise de Sensibilidades e Resultados

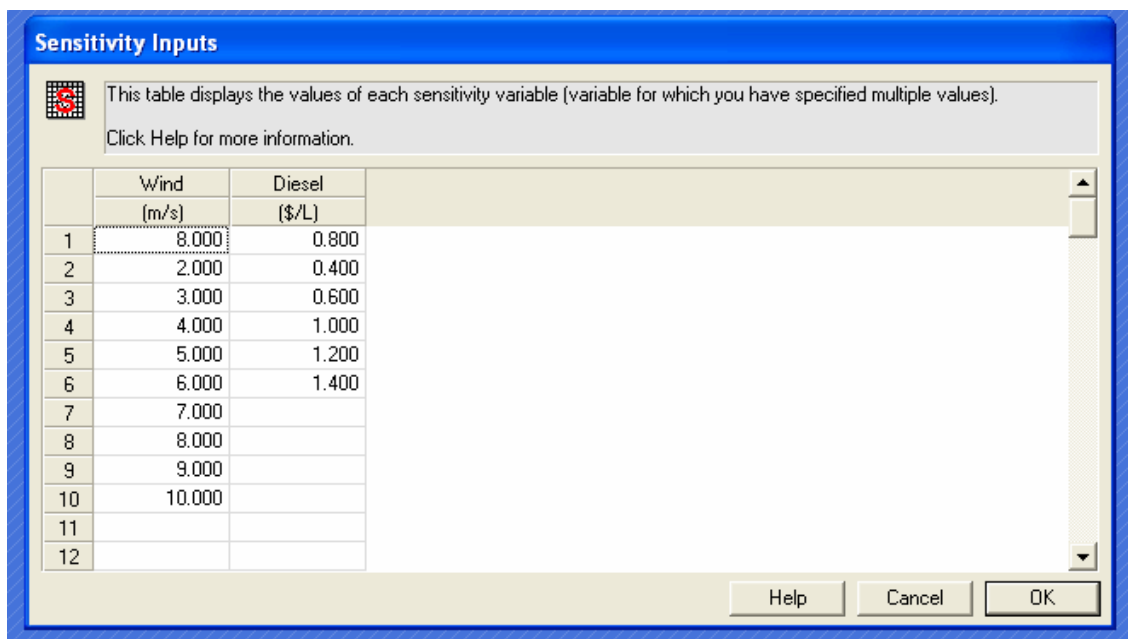



Figura AIII.12 – Tabela de Oscilação de Valores de Algumas das Variáveis

Depois de feita nova simulação, obtemos os seguintes gráficos:

Interpolated Values

Wind Speed: 2.68 m/s
Diesel Price: 0.485 $/L

System type	Total net present cost
GDies	$ 4,440,583
GDies/Battery	$ 4,598,263
Wind/GDies	$ 4,668,211
Wind/GDies/Batt	$ 4,807,704

Interpolated Values

Wind Speed: 2.36 m/s
Diesel Price: 1.095 $/L

System type	Total net present cost
GDies/Battery	$ 9,796,874
GDies	$ 9,831,317
Wind/GDies/Batt	$ 9,955,988
Wind/GDies	$ 10,022,837

Interpolated Values

Wind Speed: 4.28 m/s
Diesel Price: 0.425 $/L

System type	Total net present cost
Wind/GDies	$ 3,889,325
Wind/GDies/Batt	$ 3,892,697
GDies	$ 3,910,347
GDies/Battery	$ 4,095,986

Figura AIII.13 – Custo de Geração da Electricidade

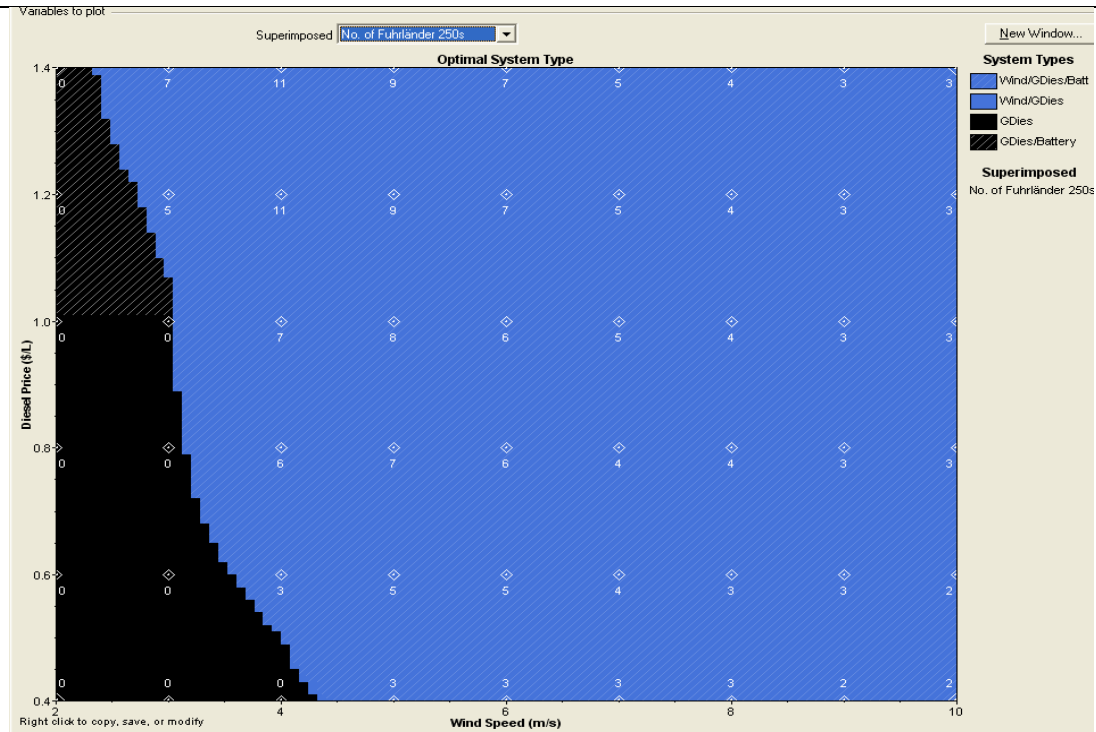



Figura AIII.14 – Número de Aerogeradores

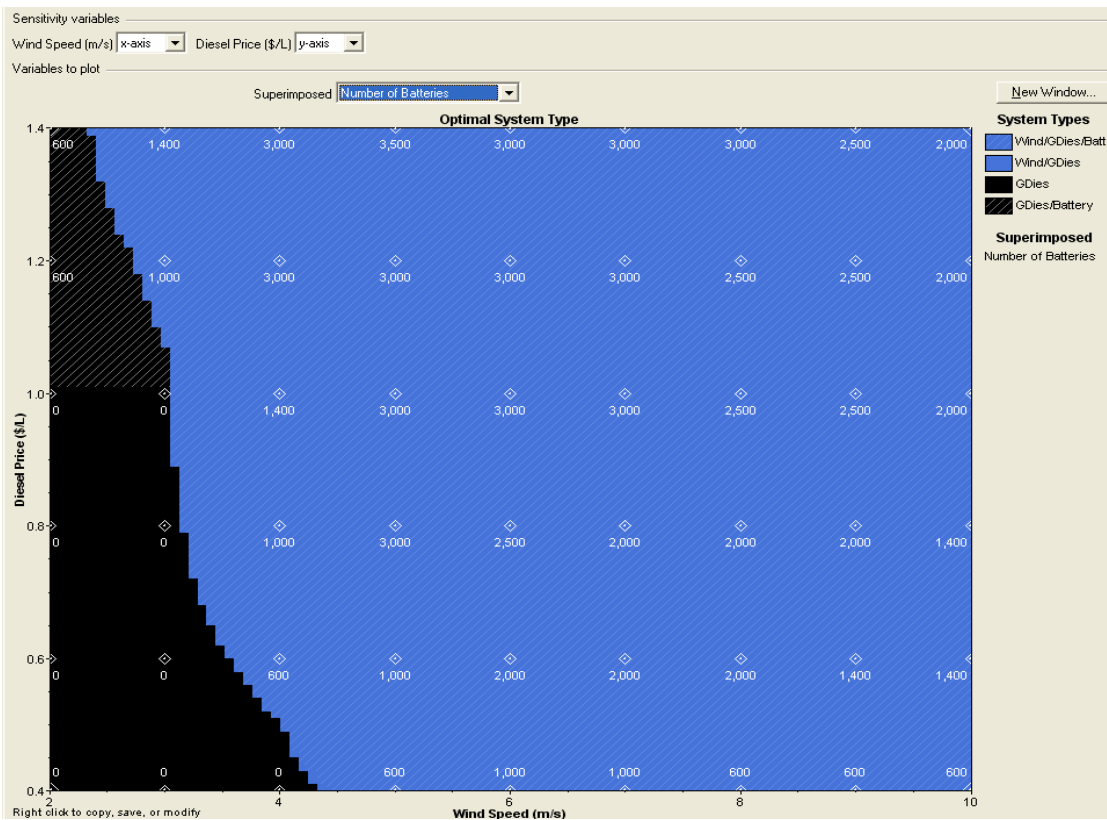



Figura AIII.15 – Número de Baterias

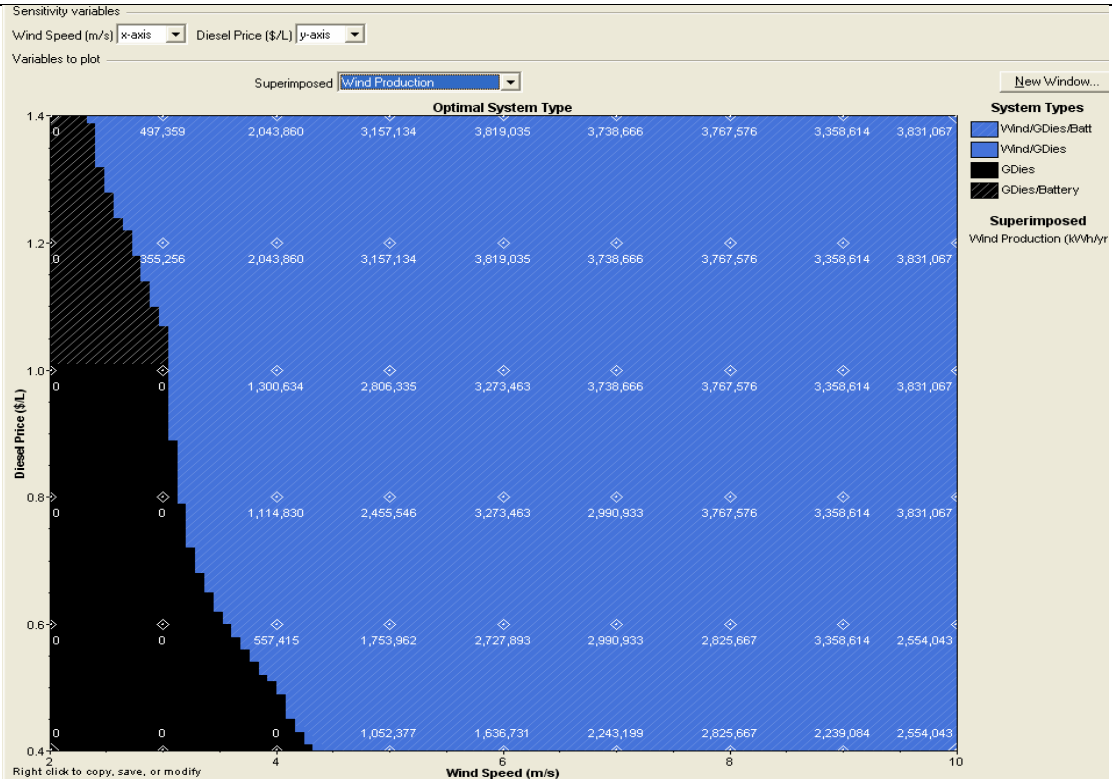



Figura AIII.16 – Produção Eólica

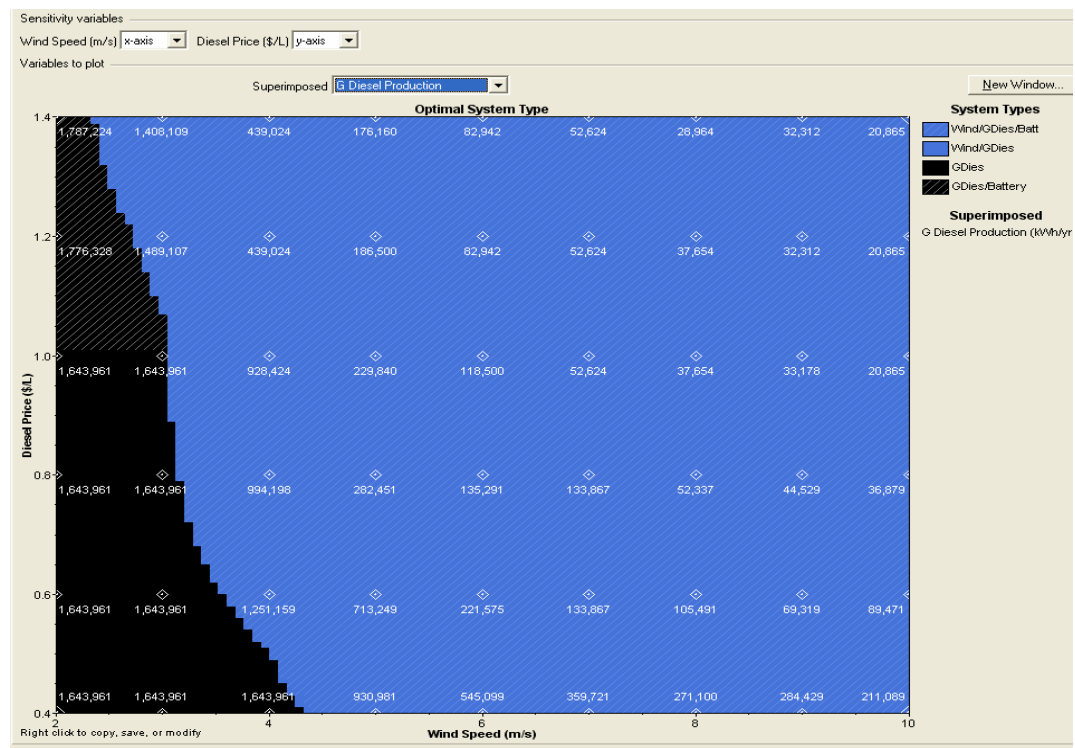



Figura AIII.17 – Produção do Gerador a Diesel

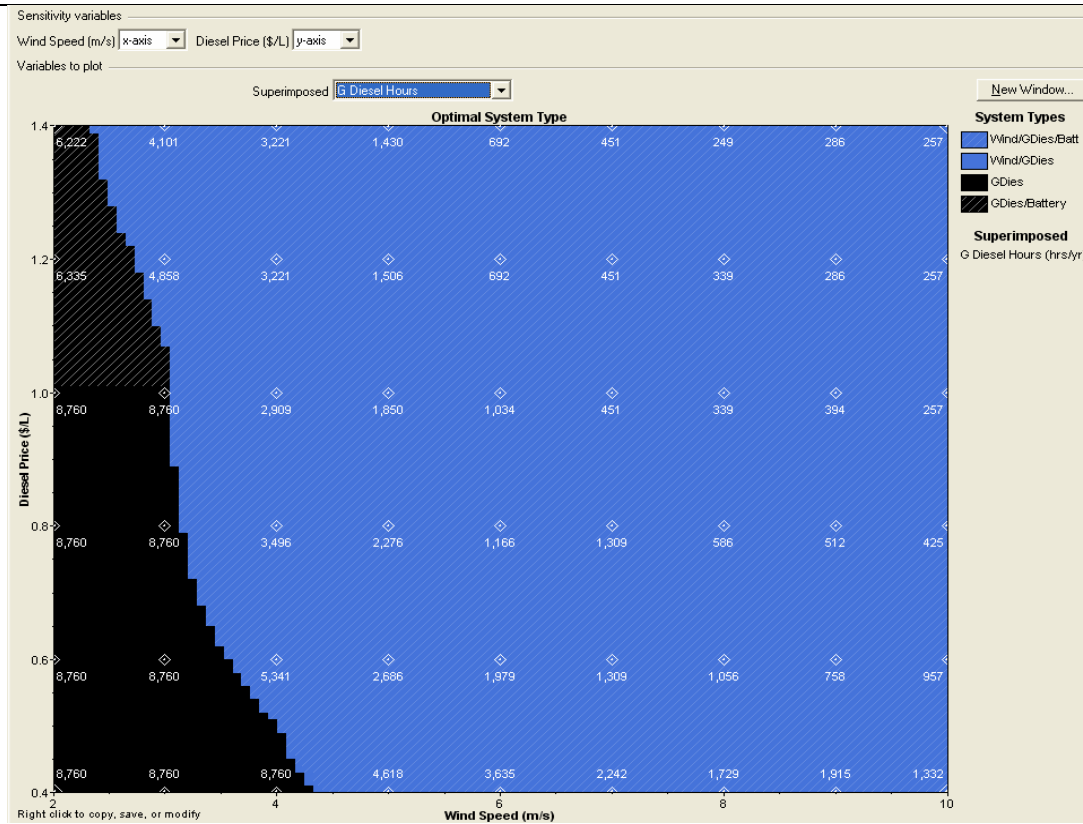



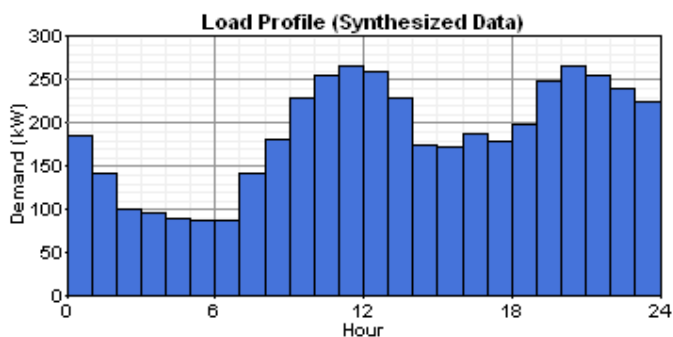
Figura AIII.18 – Tempo de Funcionamento do Gerador a Diesel

2.2 – Aerogerador de 500 kW e Gerador a Diesel de 400 kW

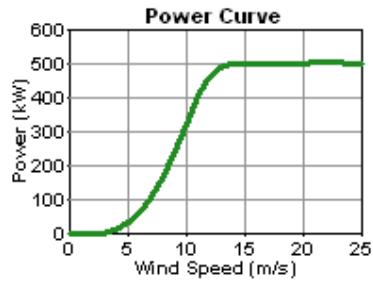
HOMER Input Summary

File name: Teste_AER500_GD400_0-2-5%_Com Sensibilidade.hmr
File version: 2.19
Author: João Leitão
Notes: Aerogerador de 500 kW GD - 400kW

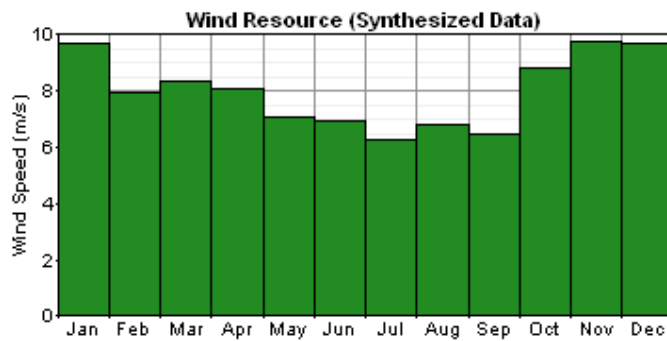
AC Load: Primary Load 1

Data source: Synthetic
Daily noise: 10%
Hourly noise: 10%
Scaled annual average: 4,504 kWh/d
Scaled peak load: 390 kW
Load factor: 0.481

AC Wind Turbine: AE 500

Quantity	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/yr)
1	400,000	350,000	10,000

Quantities to consider: 0, 1, 2, 3, 4, 5
Lifetime: 20 yr
Hub height: 50 m

Wind Resource

Data source: Synthetic

Month	Wind Speed (m/s)
Jan	9.69
Feb	7.97
Mar	8.35
Apr	8.10
May	7.06
Jun	6.93
Jul	6.27
Aug	6.83
Sep	6.51
Oct	8.85
Nov	9.76
Dec	9.69

Weibull k: 2.30
Autocorrelation factor: 0.850
Diurnal pattern strength: 0.250
Hour of peak wind speed: 15
Scaled annual average: 8, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 m/s
Anemometer height: 30 m
Altitude: 700 m
Wind shear profile: Logarithmic
Surface roughness length: 0.1 m

AC Generator: G Diesel

Size (kW)	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/hr)
400.000	18,000	16,900	1.130
600.000	21,000	19,900	1.260
800.000	23,000	22,000	1.470
1,500.000	30,000	29,000	1.900

Sizes to consider: 0, 400 kW
Lifetime: 100,000 hrs
Min. load ratio: 0%
Heat recovery ratio: 0%
Fuel used: Diesel
Fuel curve intercept: 0.08 L/hr/kW
Fuel curve slope: 0.25 L/hr/kW

Fuel: Diesel

Price:	$ 0.8, 0.4, 0.6, 1.0, 1.2, 1.4/L
Lower heating value:	43.2 MJ/kg
Density:	820 kg/m3
Carbon content:	88.0%
Sulfur content:	0.330%

Battery: Trojan L16P

Quantity	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/yr)
1	130	130	6.00

Quantities to consider:	0, 400, 800, 1,200, 2,000, 2,500, 3,000, 4,000, 6,000, 8,000, 10,000
Voltage:	6 V
Nominal capacity:	360 Ah
Lifetime throughput:	1,075 kWh

Converter

Size (kW)	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/yr)
1.000	300	300	6

Sizes to consider:	0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 kW
Lifetime:	15 yr
Inverter efficiency:	90%
Inverter can parallel with AC generator:	Yes
Rectifier relative capacity:	90%
Rectifier efficiency:	85%

Economics

Annual real interest rate: 6%
Project lifetime: 25 yr
Capacity shortage penalty: $ 0/kWh
System fixed capital cost: $ 0
System fixed O&M cost: $ 0/yr

Generator control

Check load following: Yes
Check cycle charging: Yes
Setpoint state of charge: 80%
Allow systems with multiple generators: Yes
Allow multiple generators to operate simultaneously: Yes
Allow systems with generator capacity less than peak load: Yes

Emissions

Carbon dioxide penalty: $ 0/t
Carbon monoxide penalty: $ 0/t
Unburned hydrocarbons penalty: $ 0/t
Particulate matter penalty: $ 0/t
Sulfur dioxide penalty: $ 0/t
Nitrogen oxides penalty: $ 0/t

Constraints

Maximum annual capacity shortage: 0, 2, 5%
Minimum renewable fraction: 0%
Operating reserve as percentage of hourly load: 10%
Operating reserve as percentage of peak load: 0%
Operating reserve as percentage of solar power output: 25%
Operating reserve as percentage of wind power output: 50%

Resultados da Simulação

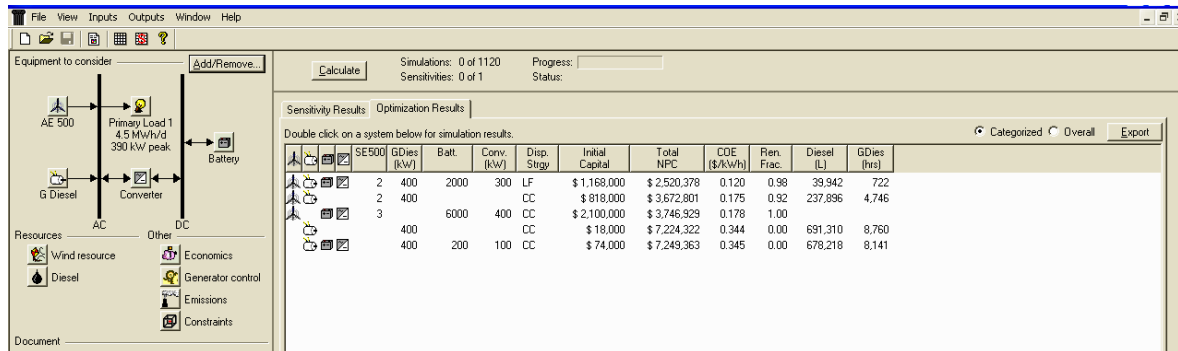



Figura AIII.19 – Custo das Possíveis Configurações

Análise de Sensibilidades e Resultados

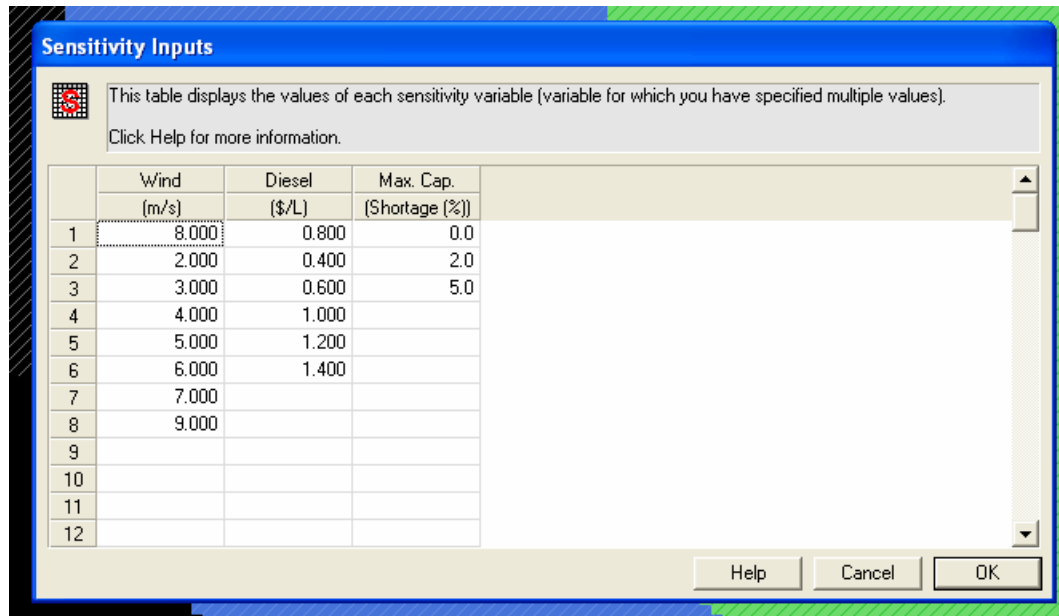



Figura AIII.20 – Tabela de Oscilação de Valores de Algumas das Variáveis

Depois de feita nova simulação, obtemos os seguintes gráficos:

1º) 0% de Energia Reprimida

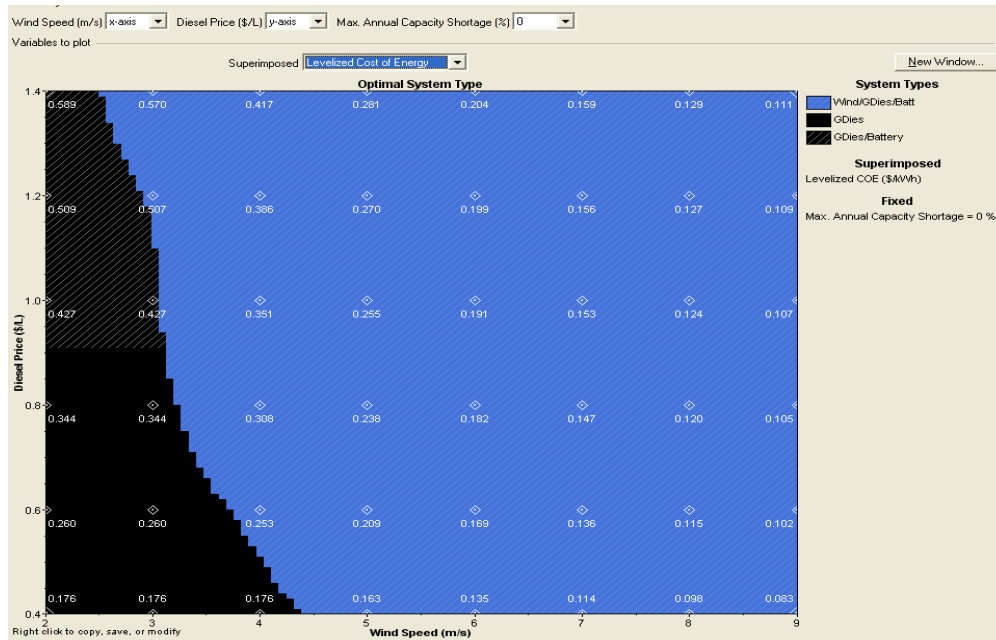



Figura AIII.21 – Custo de Geração da Electricidade

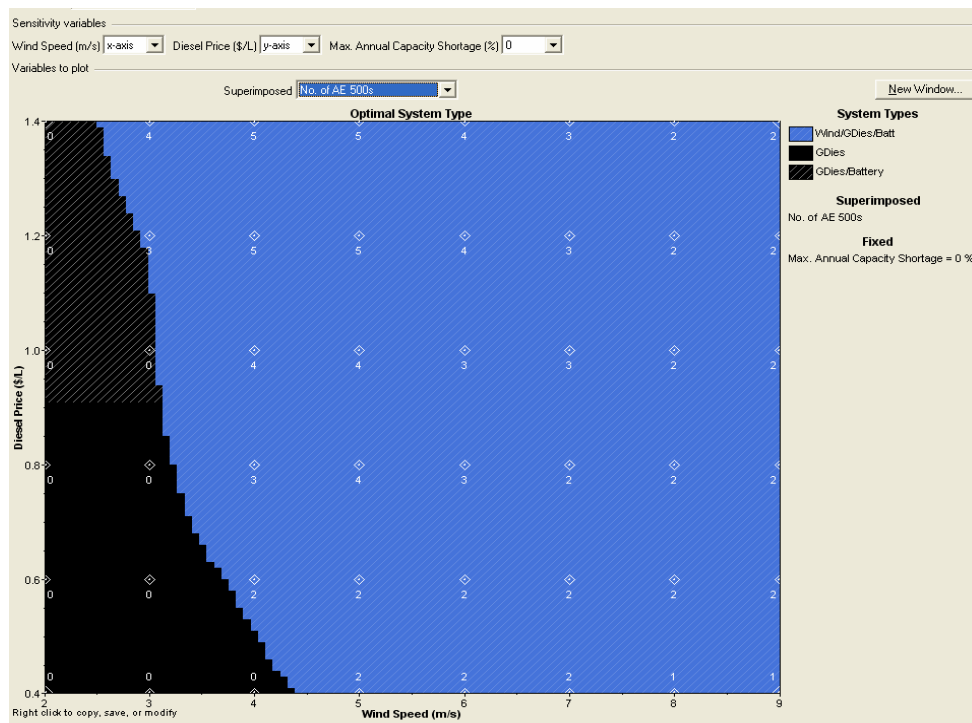



Figura AIII.22 – Número de Aerogeradores

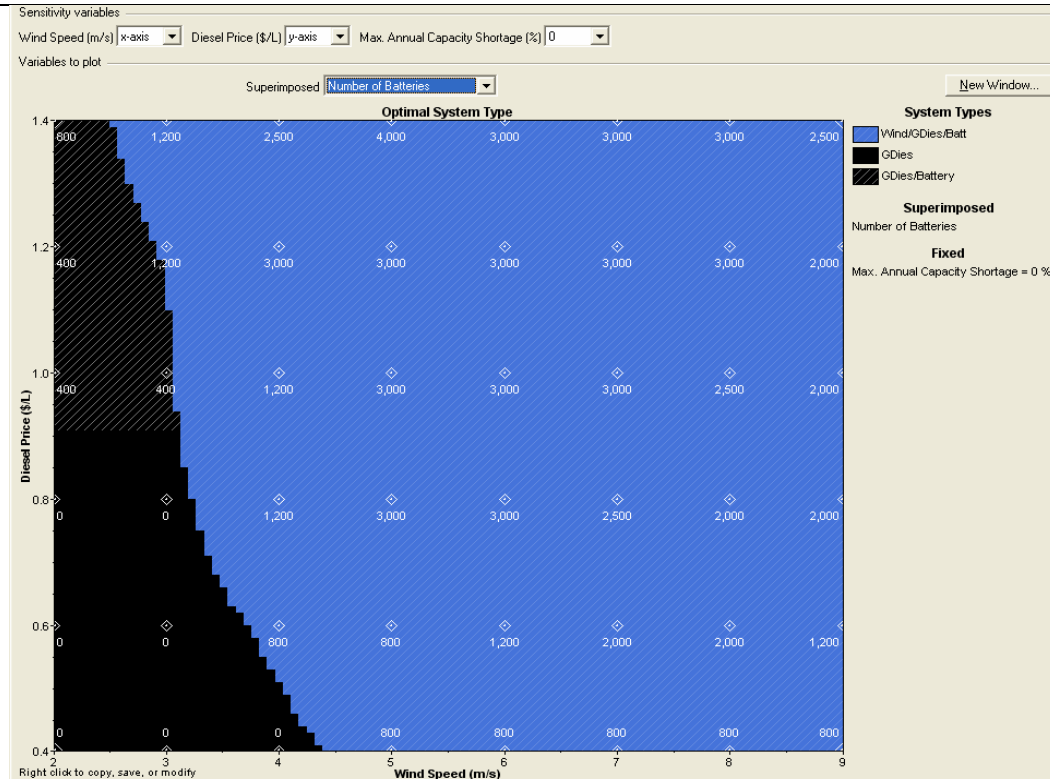



Figura AIII.23 – Número de Baterias

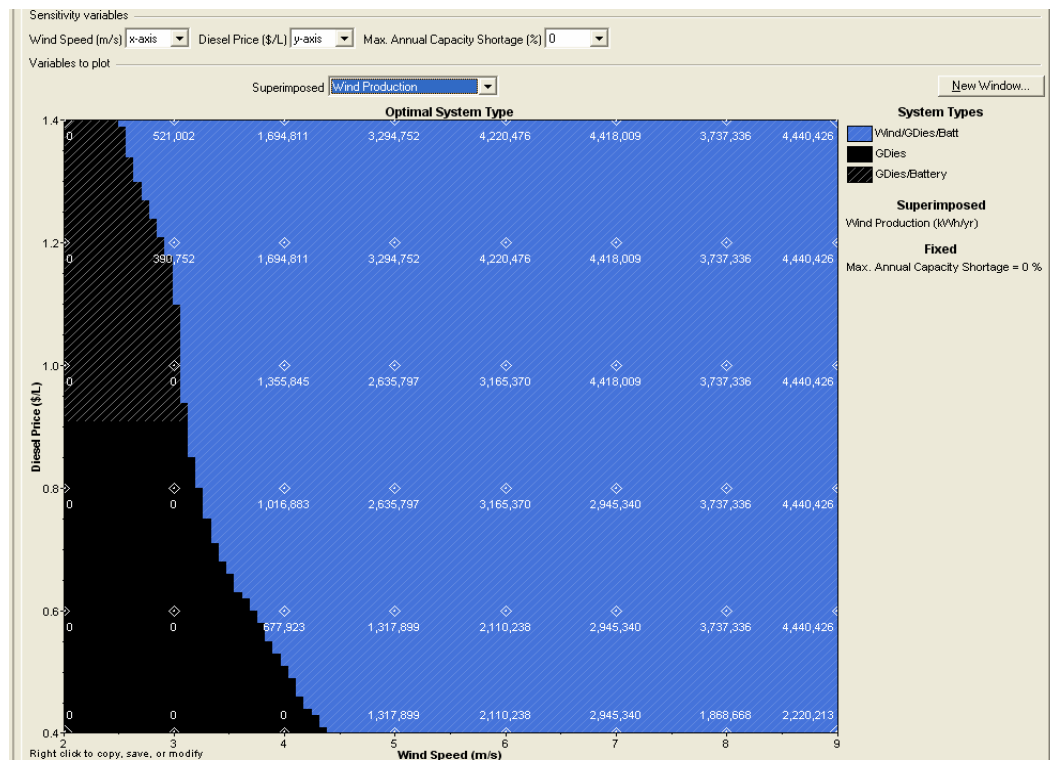



Figura AIII.24 – Produção Eólica

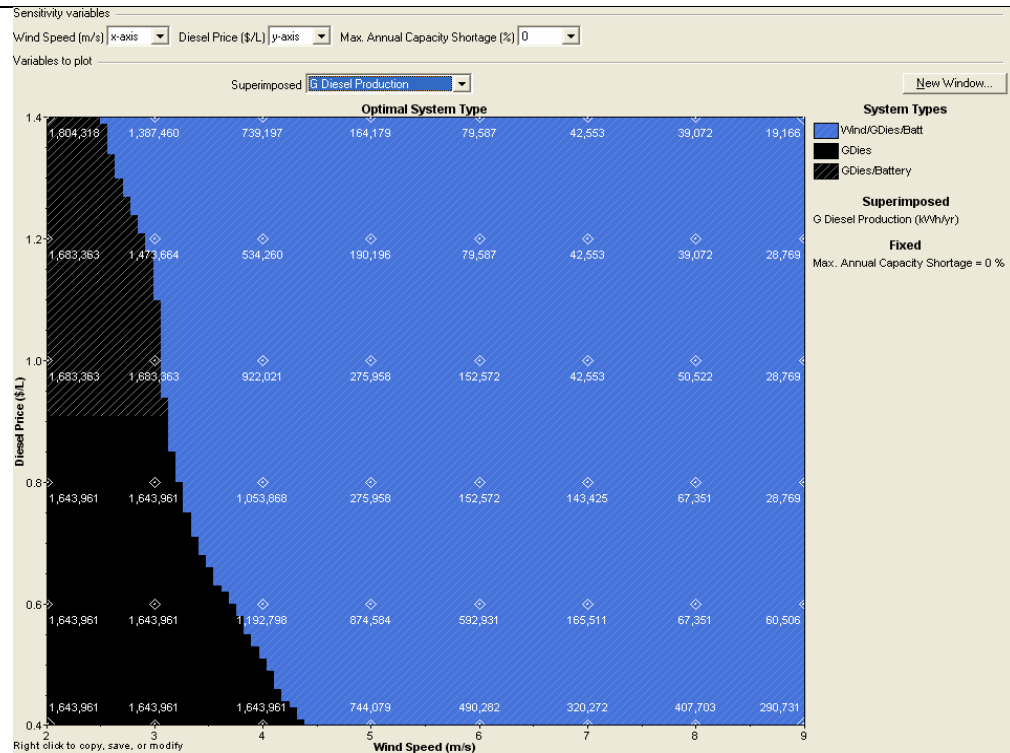



Figura AIII.25 – Produção do Gerador a Diesel

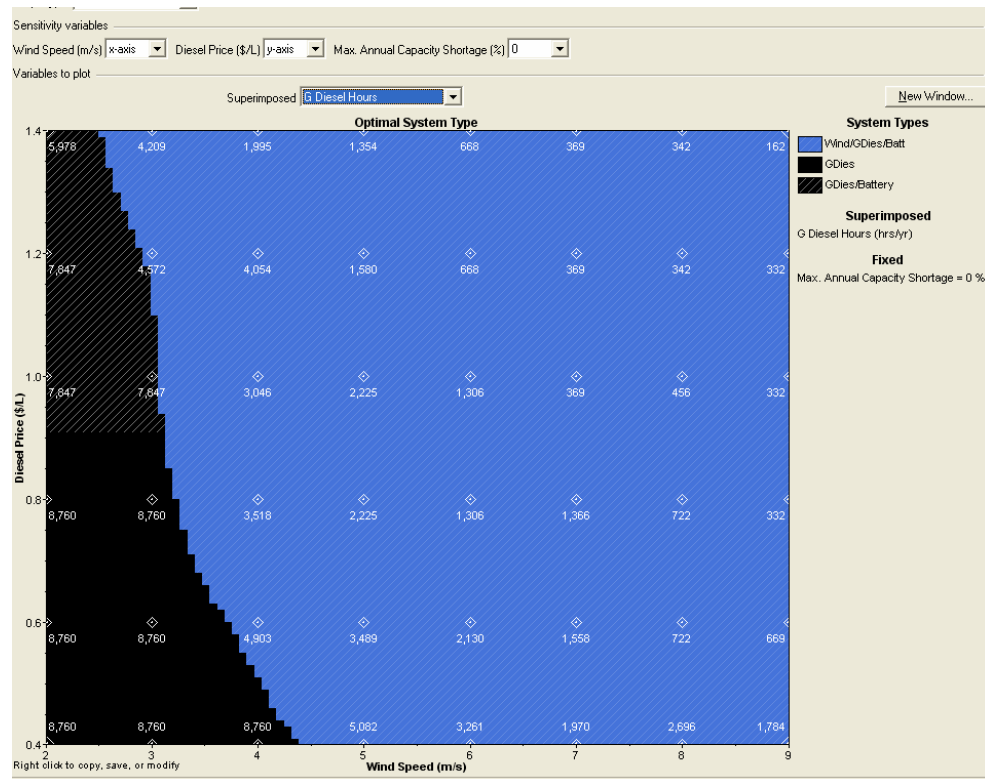



Figura AIII.26 – Tempo de Funcionamento do Gerador a Diesel

2º) 2% de Energia Reprimida

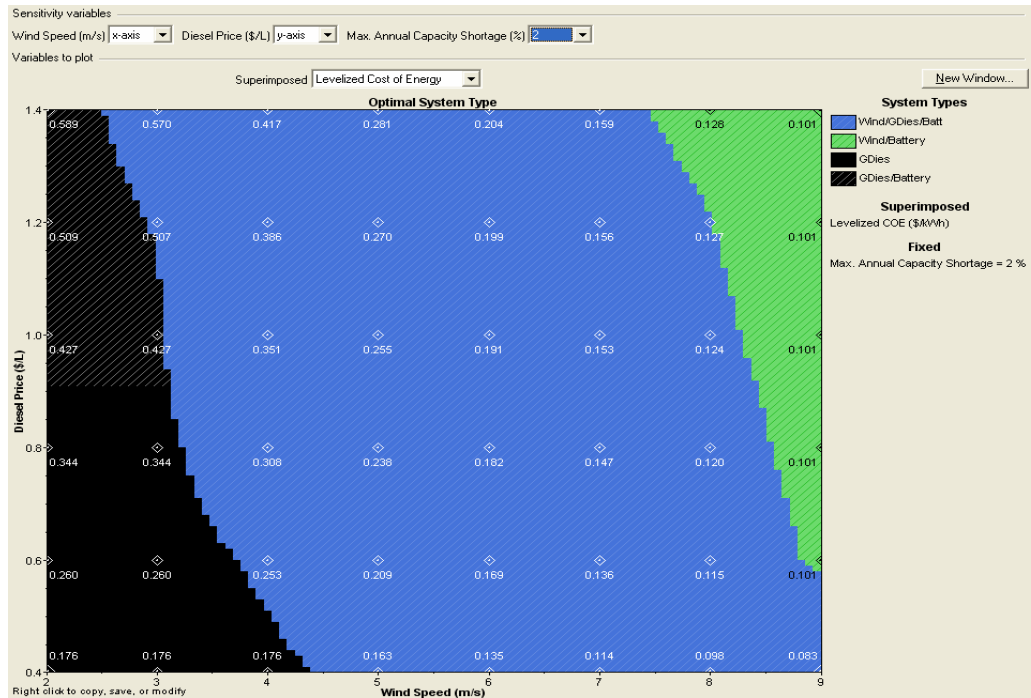



Figura AIII.27 – Custo de Geração da Electricidade

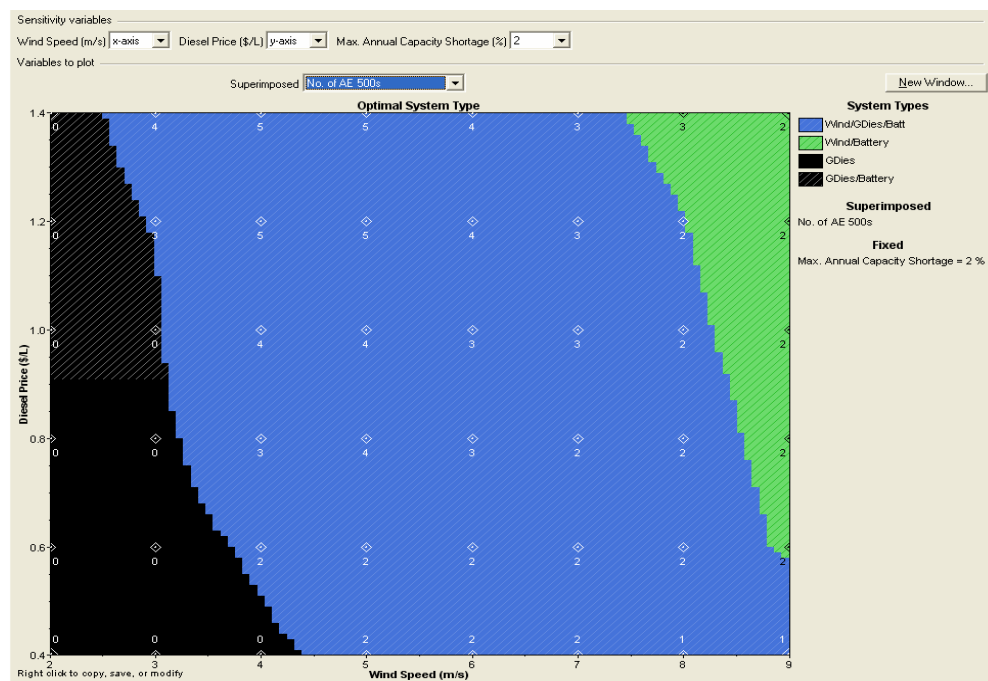



Figura AIII.28 – Número de Aerogeradores

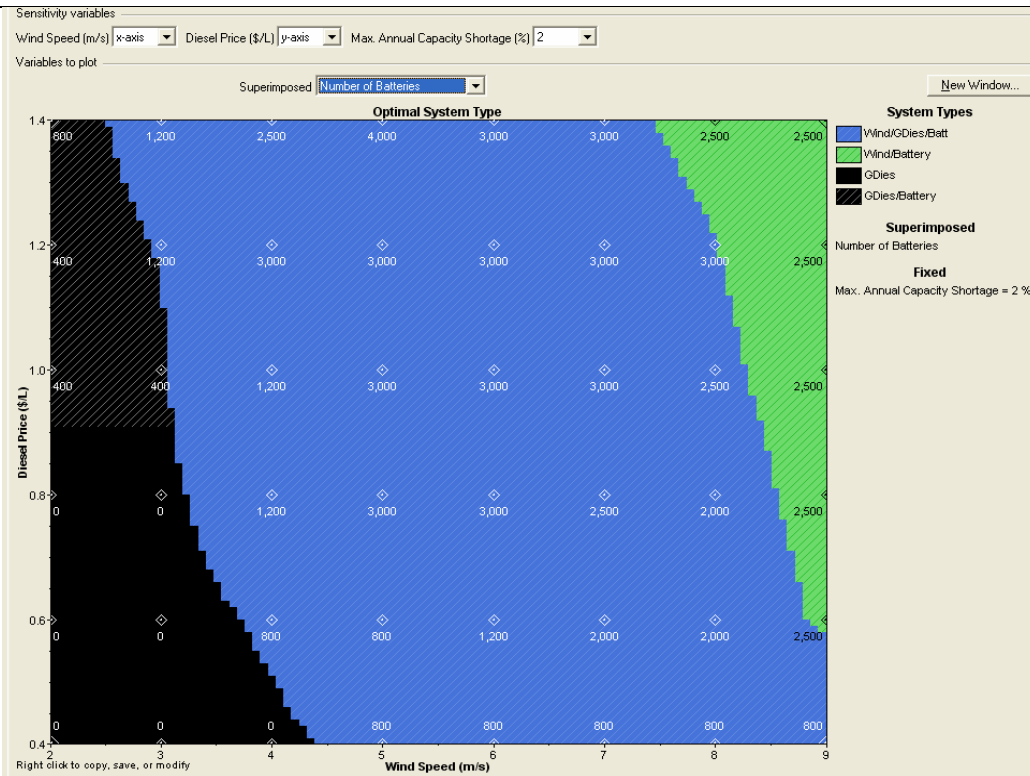



Figura AIII.29 – Número de Baterias

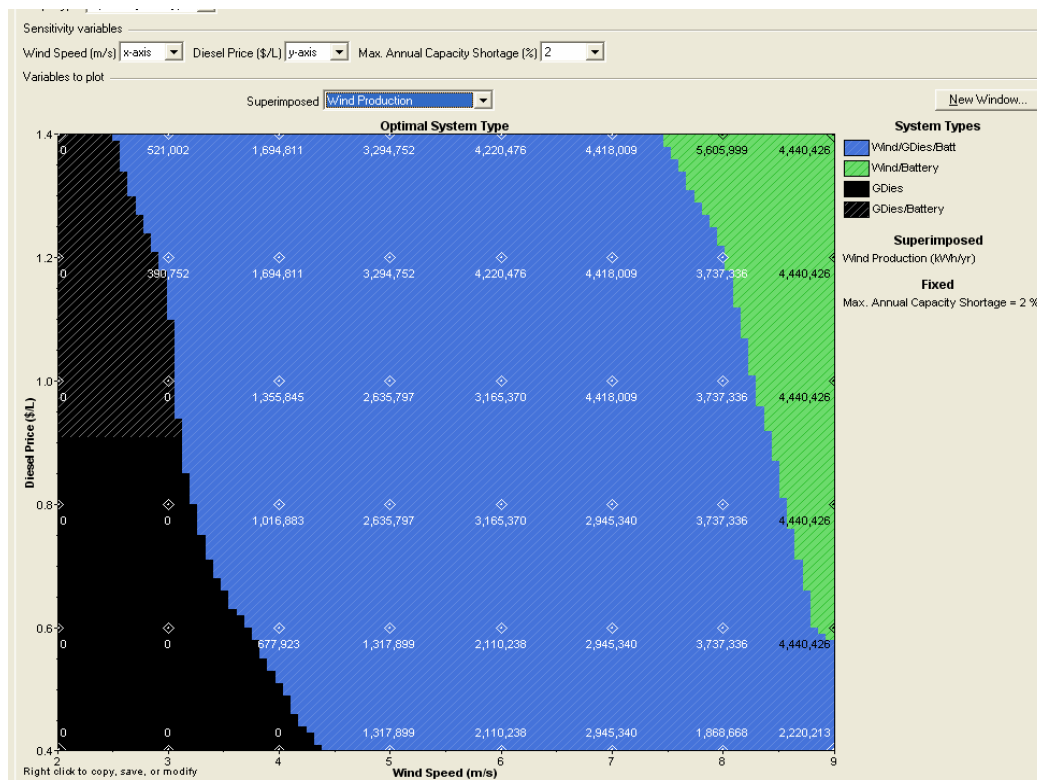



Figura AIII.30 – Produção Eólica

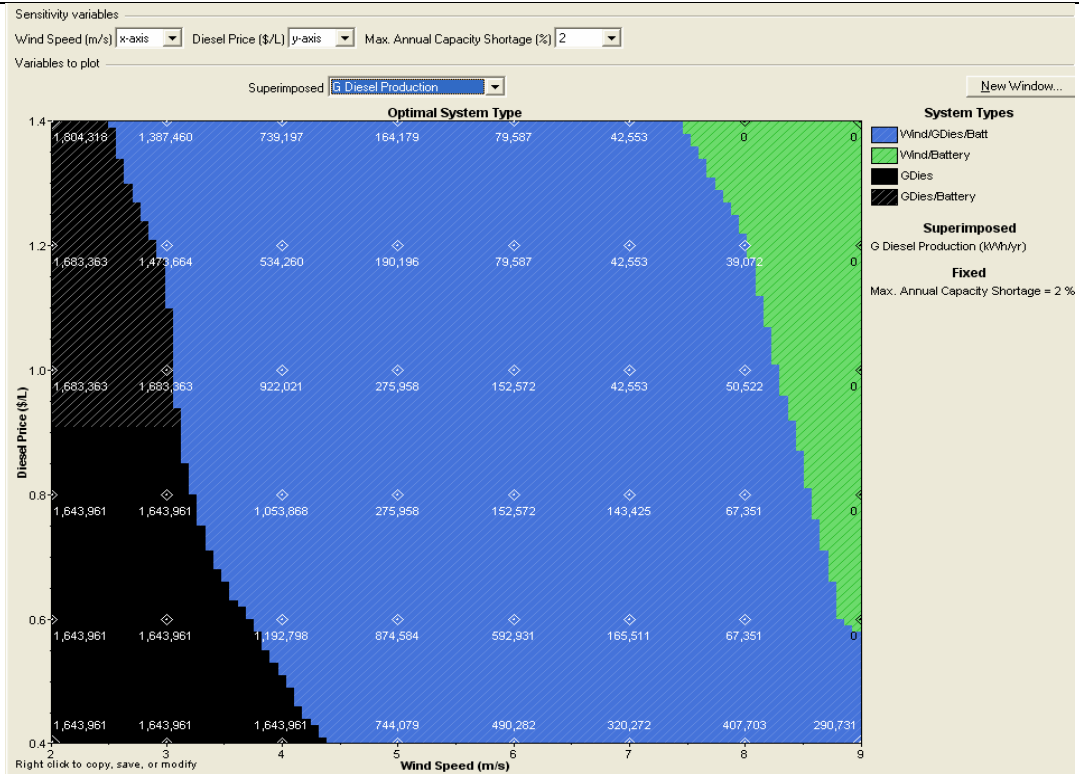



Figura AIII.31 – Produção do Gerador a Diesel

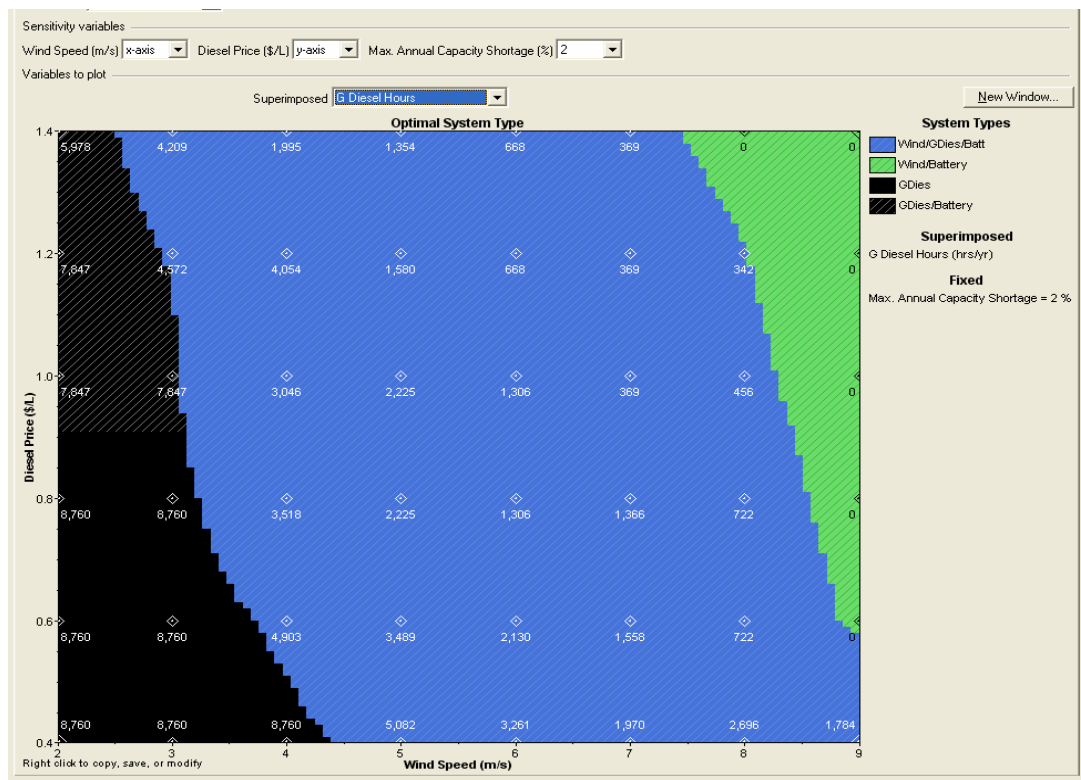



Figura AIII.32 – Tempo de Funcionamento do Gerador a Diesel

3º) 5% de Energia Reprimida

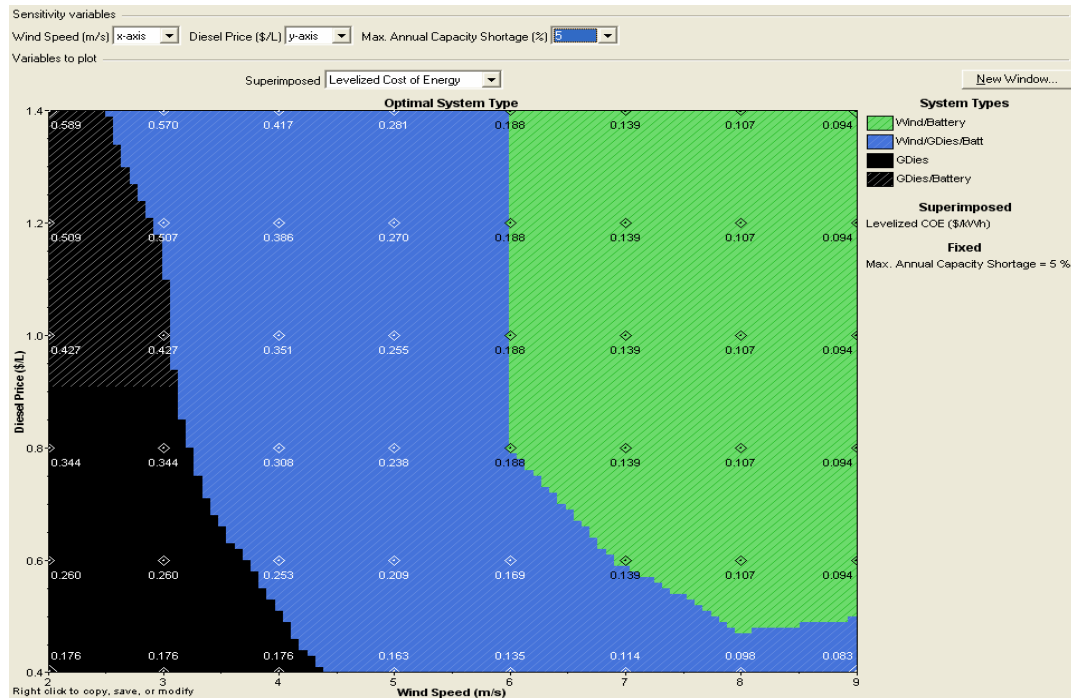



Figura AIII.33 – Custo de Geração da Electricidade

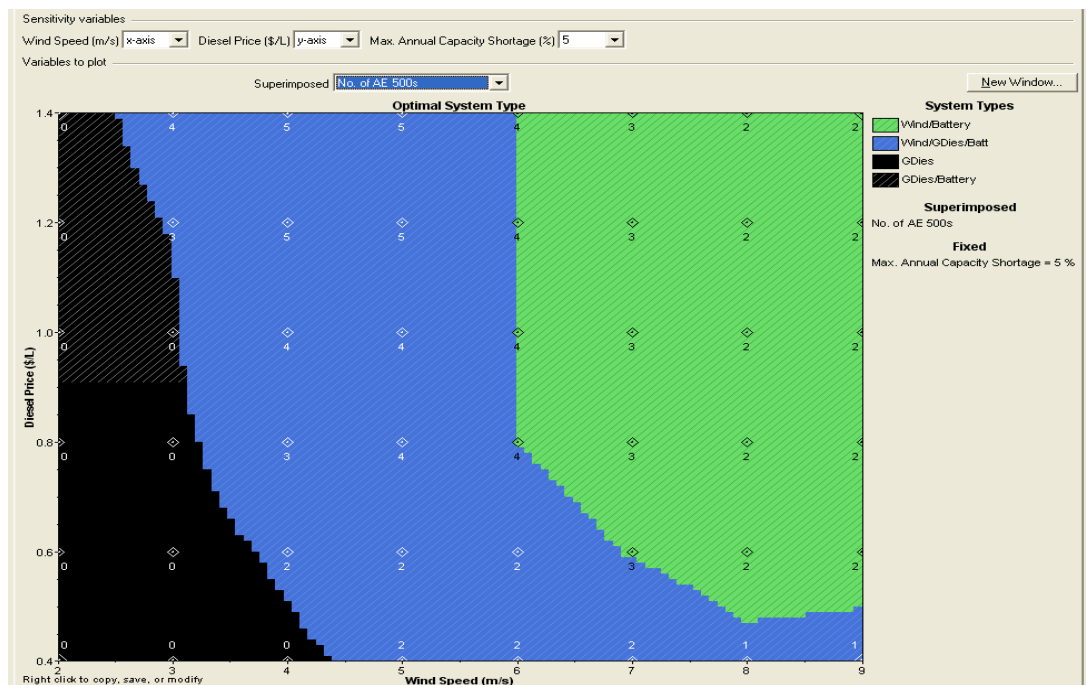



Figura AIII.34 – Número de Aerogeradores

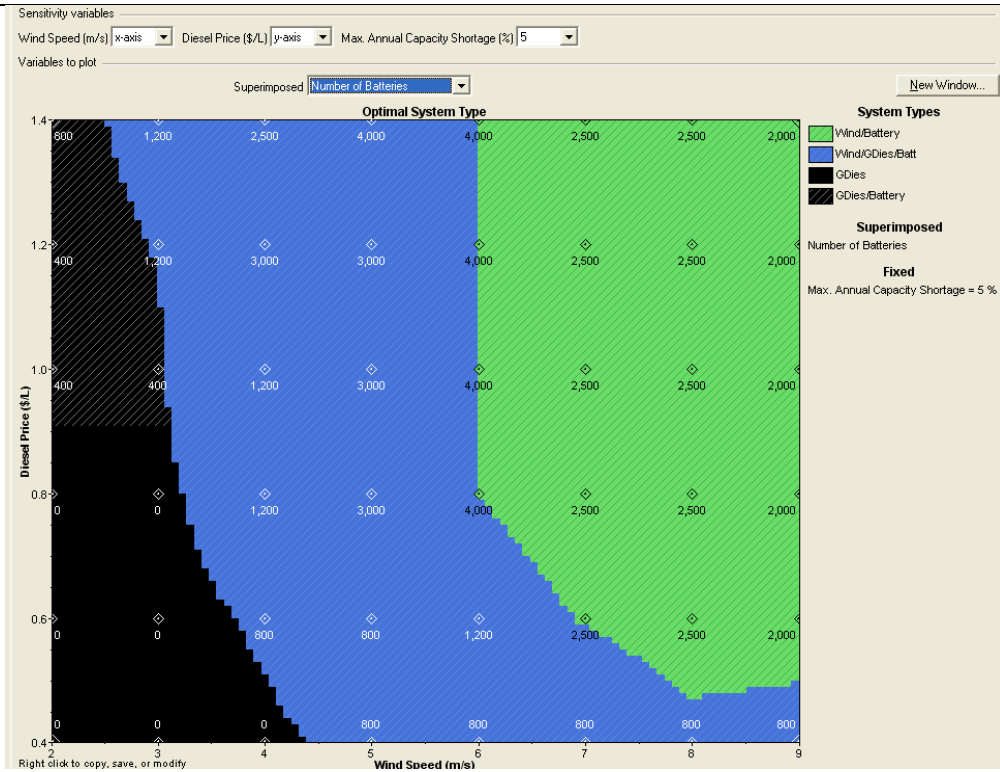



Figura AIII.35 – Número de Baterias

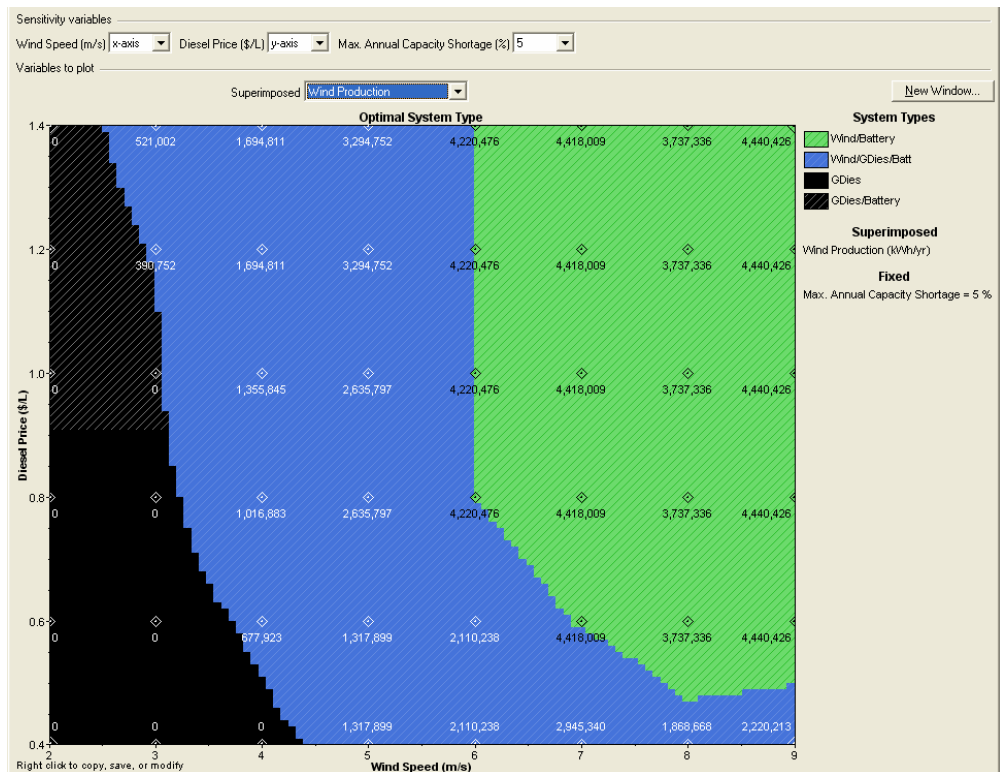



Figura AIII.36 – Produção Eólica

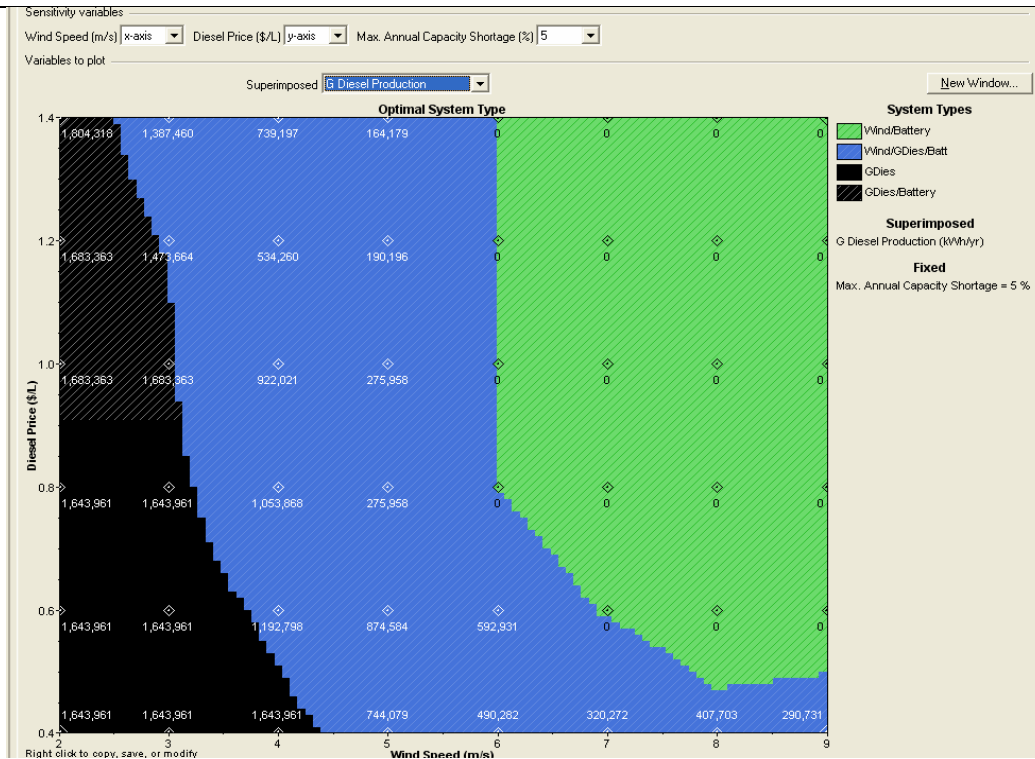



Figura AIII.37 – Produção do Gerador a Diesel

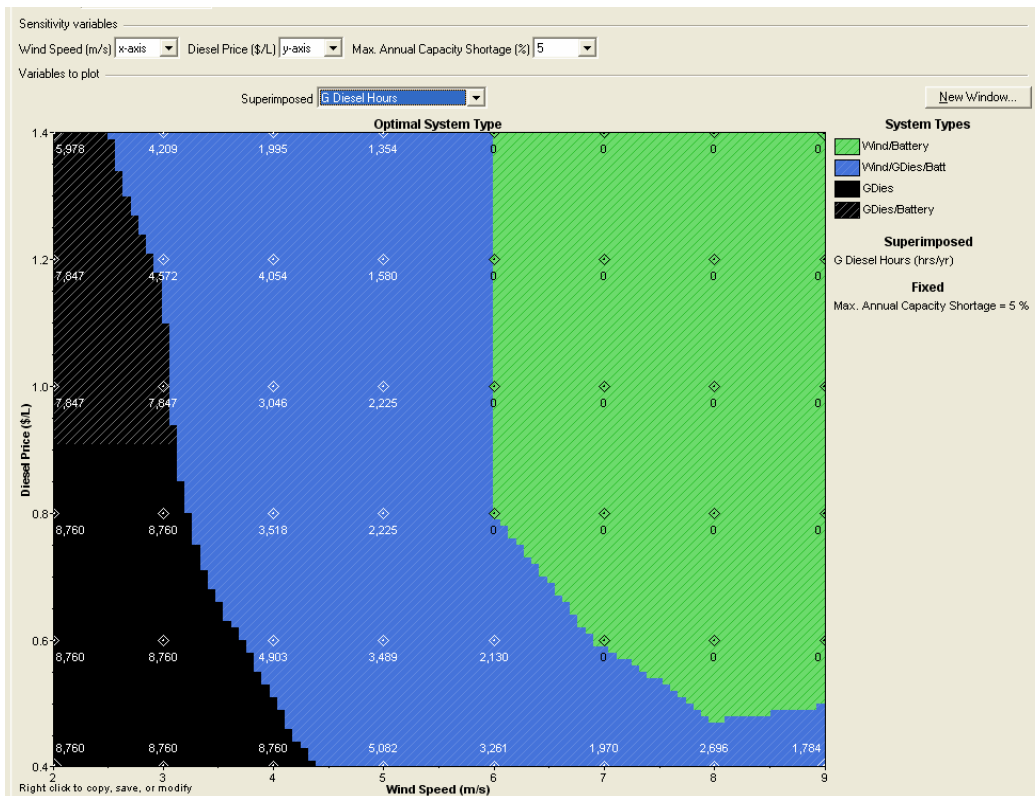



Figura AIII.38 – Tempo de Funcionamento do Gerador a Diesel

2.3 – Aerogerador de 500 kW e Gerador a Diesel de 400 kW, Desligado durante a noite

O HOMER permite, também, caso seja necessário, impor um modo de funcionamento. Ou seja, é possível forçar o gerador a Diesel a operar, ou não, em determinadas horas do dia. Por omissão, o programa escolhe o período de tempo mais adequado a esse funcionamento.

Neste caso o gerador a Diesel é forçado a estar desligado durante a noite, ou seja, das 21 às 8 horas (***figura AIII.39***).

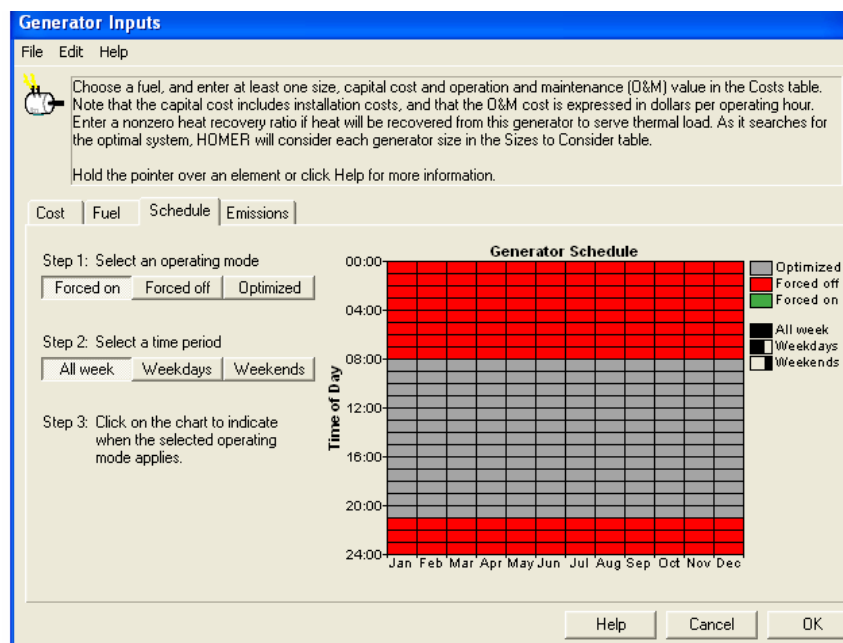



Figura AIII.39 – Modo de Funcionamento do Gerador a Diesel

Depois de feita nova simulação, obtemos os seguintes gráficos:

1º) 0% de Energia Reprimida

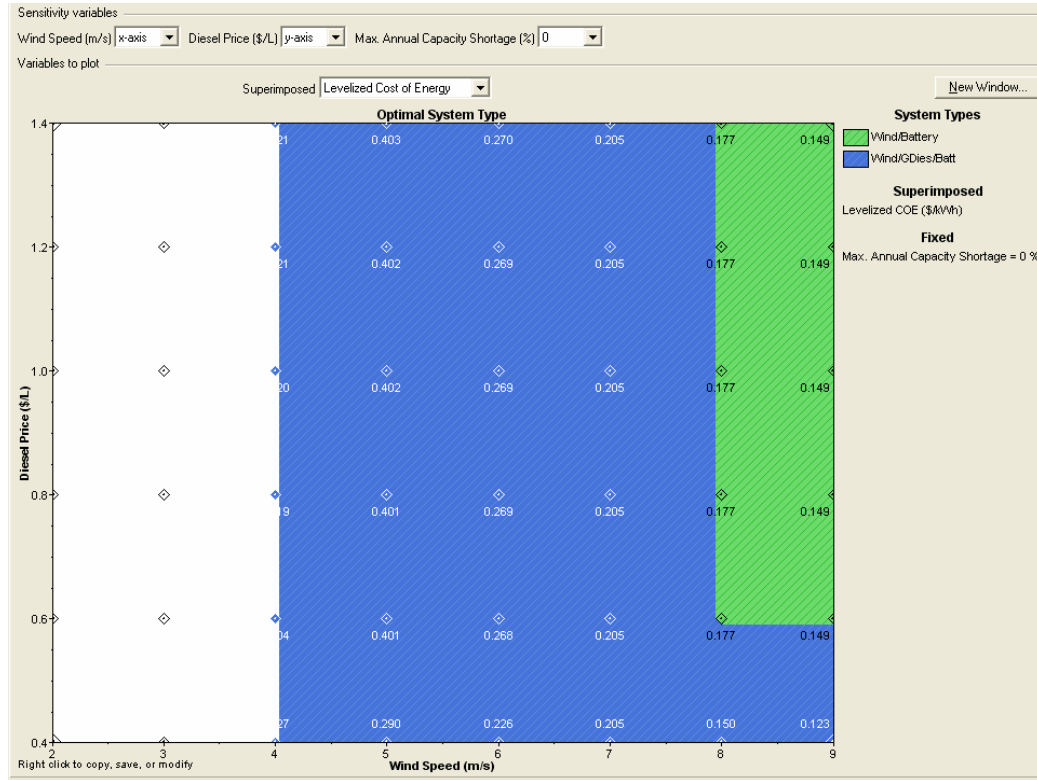



Figura AIII.40 – Custo de Geração da Electricidade

Como podemos verificar, pela análise ao gráfico da ***figura AIII.40***, para valores de velocidade do vento inferiores a 4 m/s o Homer não encontra solução.

Para valores de velocidade do vento, compreendidos entre 4 e 8 m/s, o sistema eólico / Diesel com baterias é o mais adequado.

Para valores de velocidade do vento superiores a 8 m/s e preço do Diesel superior a 0.6€/L, o sistema eólico com baterias é o mais adequado. Porem, se o preço do Diesel for inferior a 0.6€/L, o sistema mais adequado passa a ser o eólico / Diesel com baterias.

2º) 2% de Energia Reprimida

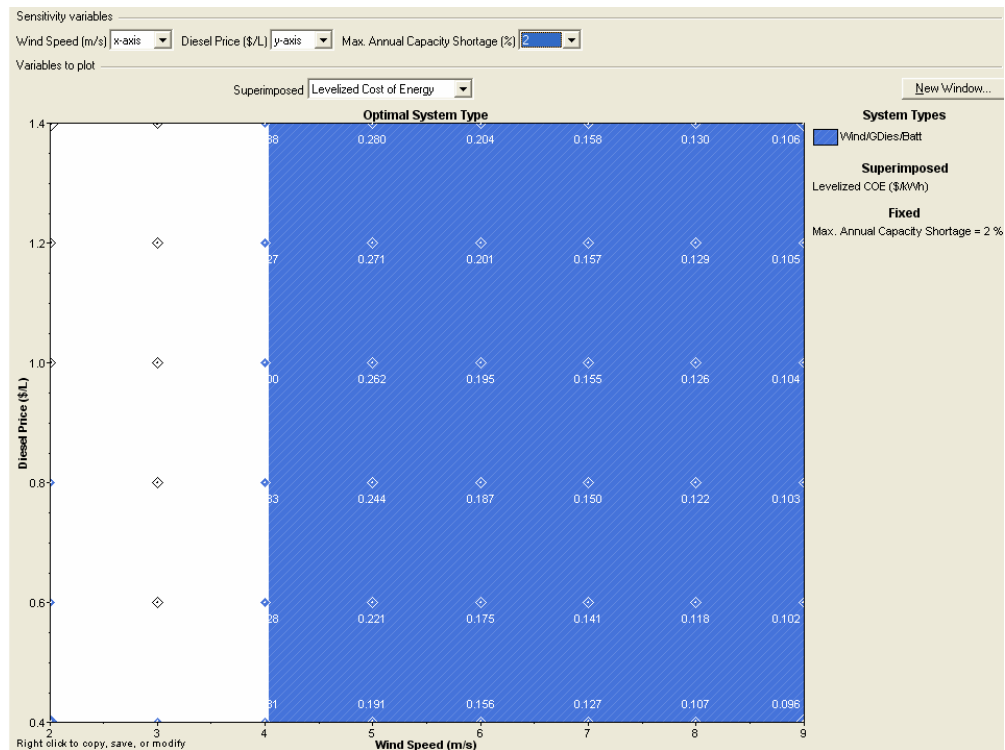



Figura AIII.41 – Custo de Geração da Electricidade

Como podemos verificar, pela análise ao gráfico da ***figura AIII.41***, para valores de velocidade do vento inferiores a 4 m/s o Homer não encontra solução.

Para valores de velocidade do vento superiores 4 m/s, o sistema eólico / Diesel com baterias é o mais adequado.

3º) 5% de Energia Reprimida

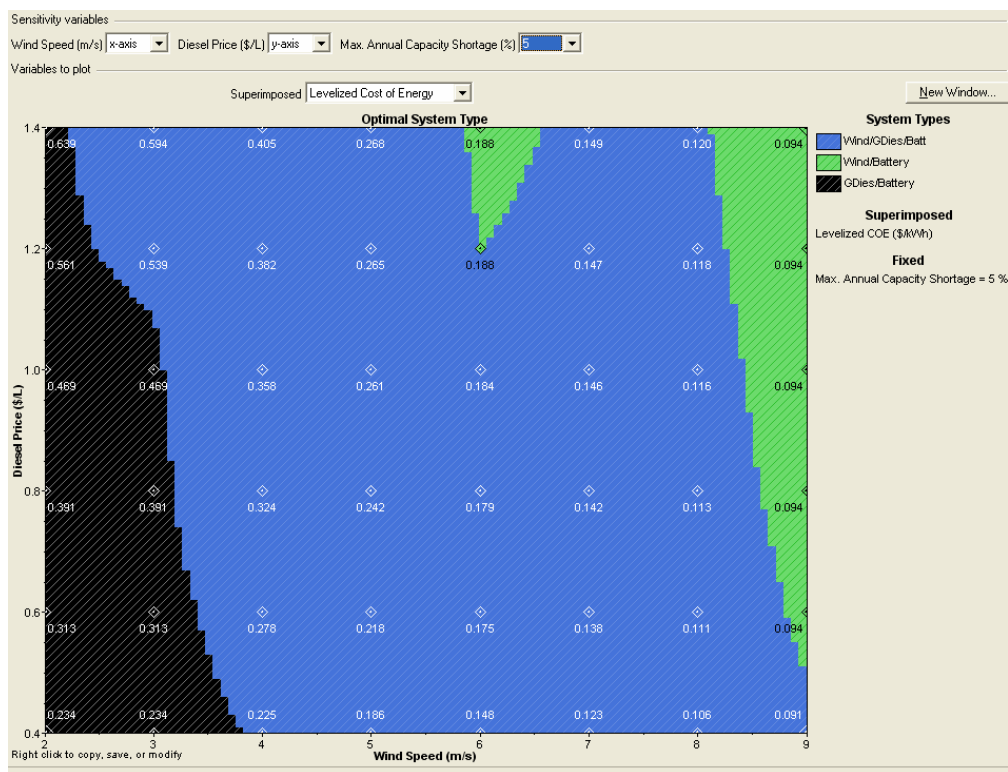



Figura AIII.42 – Custo de Geração da Electricidade

Como podemos verificar, pela análise ao gráfico da ***figura AIII.42***, para valores de velocidade do vento inferiores a 4 m/s e baixo custo do Diesel, o sistema Diesel com baterias é o mais adequado.

Para valores de velocidade do vento, compreendidos entre 4 e 8 m/s, o sistema eólico / Diesel com baterias é o mais adequado, excepto quando a velocidade do vento ronda os 6 m/s e o preço do Diesel é superior a 1.2€/L, o sistema mais adequado passa a ser o eólico com baterias.

À medida que aumentam a velocidade do vento – superior a 8 m/s – e o custo do Diesel, aumenta, também, a possibilidade de escolha do sistema eólico com baterias.